



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO

INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

HISTORICKÝ VÝVOJ PÍSTOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

HISTORICAL DEVELOPMENT OF PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR KUČERA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. VÁCLAV PÍŠTĚK, DrSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Kučera

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Historický vývoj pístových spalovacích motorů

v anglickém jazyce:

Historical development of piston internal combustion engines

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Charakterizovat základní etapy vývoje pístových spalovacích motorů pro aplikaci v dopravních prostředcích.

Cíle bakalářské práce:

Soustředit a kriticky zhodnotit poznatky o vývoji a parametrech pístových spalovacích motorů ve vybraných časových obdobích.

Nastínit perspektivy dalšího vývoje pístových spalovacích motorů pro mobilní aplikace.

Seznam odborné literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. 641 s. ISBN 0-333-74013-0.

Kraftfahrzeug - Kurbelwellen: Konstruktion, Berechnung, Herstellung. 2001. Auflage. Landsberg/Lech Verlag Moderne Industrie 2001. 70 s. ISBN 3-478-93243-2.

Hafner, K.E., Maass, H.: Kräfte, Momente und deren Ausgleich in der Verbrennungskraftmaschine, Springer-Verlag Wien-New York 1995

HEISLER, Heinz. Advanced Engine Technology. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 794 s. ISBN 1-56091-734-2.

Firemní literatura.

Internet.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 31.10.2011

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce má za úkol charakterizovat základní etapy vývoje pístových spalovacích motorů pro aplikaci v dopravních prostředcích. První část práce obsahuje seznámení s problematikou těchto motorů, jejich základní členění a popis a prvopočátky jejich vývoje. Druhá část práce je zaměřena na současné trendy ve vývoji a směr, kterým by se mohly spalovací motory v budoucnu ubírat.

Klíčová slova

Pístový spalovací motor, zážehový, vznětový motor, spalování

Abstract

This work aims to characterize the basic stages of development of piston combustion engines for use in vehicles. The first part contains familiar with the problem of these engines, their basic structure and description and the beginnings of their development. The second part is focused on current trends in the development and way the combustion engines could proceed in the future.

Keywords

Piston internal combustion engine, gasoline, diesel engine, combustion

Bibliografická citace

KUČERA, P. *Historický vývoj pístových spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 48 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Václava Píštěka, DrSc., a uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a elektronické zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....

Petr Kučera
25. 5. 2012

Poděkování

Za cenné připomínky a rady při tvorbě bakalářské práce bych zde chtěl poděkovat vedoucímu práce panu prof. Ing. Václavu Píštěkovi, DrSc. Rovněž bych rád poděkoval své rodině za neocenitelnou podporu po celou dobu mého studia na vysoké škole.

Obsah

1. Úvod a přehled historických milníků v počátcích vývoje spalovacích motorů.....	10
2. Základní pojmy	15
2.1 Definice spalovacích motorů	15
2.2 Základní rozdělení spalovacích motorů	15
2.3 Rozdělení spalovacích motorů s přímočarým pohybem pístu	16
2.3.1 Druh paliva.....	16
2.3.2 Způsob tvoření hořlavé směsi	16
2.3.3 Způsob výměny náplně válců.....	17
2.3.4 Způsob zapalování směsi	17
2.3.5 Průběh spalování	17
2.3.6 Konstrukční provedení a podobná hlediska	18
2.3.7 Účel a použití motoru	21
3. Hlavní konstrukční skupiny pístových spalovacích motorů	22
3.1 Pevné části motoru	22
3.1.1 Hlava válců.....	22
3.1.2 Těsnění hlavy válců.....	24
3.1.3 Válce.....	24
3.1.4 Kliková skříň	25
3.2 Klikový mechanismus.....	26
3.2.1 Píst.....	26
3.2.2 Ojnice	28
3.2.3 Kliková hřídel.....	29
3.2.4 Setrvačnick.....	30
3.3 Rozvodový mechanismus	30
3.3.1 Rozvodový mechanismus čtyřdobých motorů	30
3.3.2 Rozvodový mechanismus dvoudobých rychloběžných motorů	32

3.4 Palivový systém	32
3.4.1 Palivové soustavy zážehových motorů	33
3.4.2 Palivové soustavy vznětových motorů	36
3.5 Příslušenství motoru.....	39
3.5.1 Zapalování.....	39
3.5.2 Mazání.....	39
3.5.3 Chlazení.....	40
3.5.4 Sací potrubí	41
3.5.5 Výfuková soustava	42
3.5.6 Přepřňování.....	42
4. Perspektivy dalšího vývoje pístových spalovacích motorů	44
5. Seznam použité literatury a zdrojů	46

1. Úvod a přehled historických milníků v počátcích vývoje spalovacích motorů

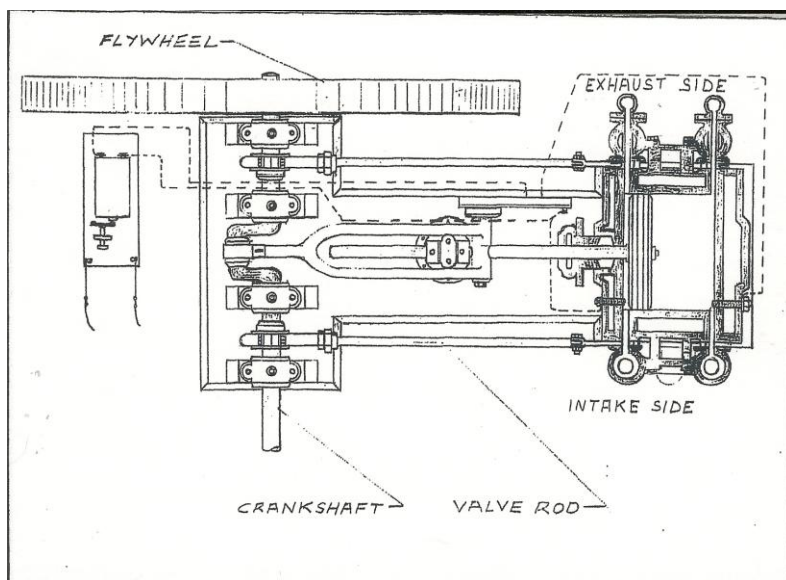
Pokrok ve všech aspektech vývoje lidské společnosti je podmíněn rozvojem energetických zdrojů. Člověk využíval postupně několika zdrojů energie - nejprve šlo o využití tažných zvířat, zlepšení přineslo využití energie větru a vody. Avšak teprve vynalezení a následné rozšíření spalovacích motorů zabezpečilo lidem dostatečný energetický potenciál, který umožňoval rychlý pokrok ve všech oblastech lidské činnosti. Proto patří mezi základní stroje dodávající mechanickou energii, kterou transformují z energie tepelné.

Pístový spalovací motor má za sebou více než 150 let technického vývoje. Za toto období prošel rozsáhlými inovacemi, které poznamenaly jeho současnou podobu, a zcela jistě bude v příštích několika desetiletích jeho vývoj a zdokonalování pokračovat.

Toto téma jsem si vybral proto, že bych chtěl načerpat nové poznatky o historii, současnosti a budoucnosti spalovacích motorů. Bakalářskou práci беру i jako přípravu na budoucí studium na Ústavu automobilního a dopravního inženýrství, kde bych rád pokračoval po dokončení prvního stupně studia na Fakultě strojního inženýrství.

Historické milníky

S myšlenkou využití tepelné energie jako zdroje užitečné práce přicházelo mnoho tvůrců už od 16. století. Jednalo se o použití střelného prachu, plynu získaného kokováním dřeva, par terpentýnového oleje smíšeného se vzduchem nebo směsí vodíku se vzduchem. Tyto plány měly svůj konec již v samotném návrhu, příp. vznikly funkční modely, avšak k jejich dalšímu vývoji a následnému rozšíření nedošlo.

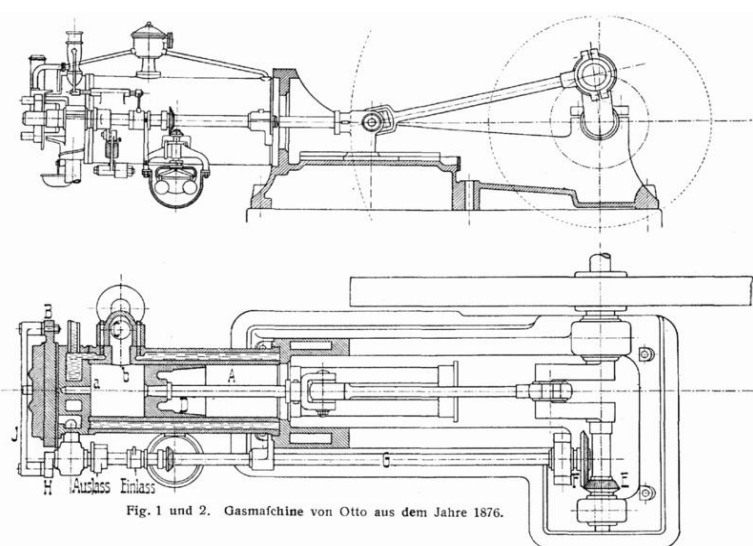


Obr. 1.1 Lenoirův motor [3]

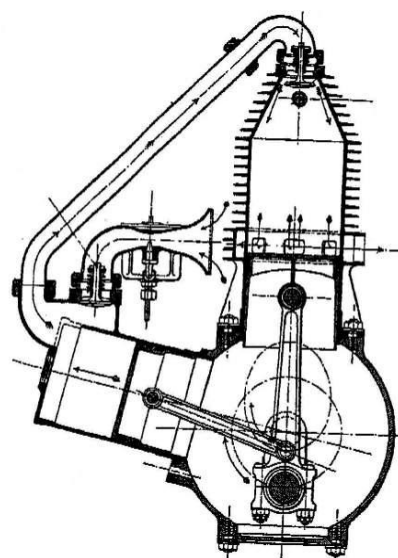
Jako tvůrce prvního použitelného plynového motoru označujeme francouzského vynálezce belgického původu J.J. Étienne Lenoira. Ten roku 1860 postavil ležatý dvojčinný motor se šoupátkovým rozvodem (Obr. 1.1). Dle [1] se do pracovního válce se stěnami chlazenými vodou při pohybu pístu z úvratí nasála směs plynu a vzduchu otvorem, ovládaným sacím šoupátkem. Uprostřed

zdvihu šoupátko uzavřelo vstup, směs byla ve válci zapálena elektrickou jiskrou, vytvořenou Ruhmhorffovým induktorem, a shořela téměř za stálého objemu. Při expanzi se píst pohyboval do druhé úvratě a konal tak užitečnou práci. Při zpětném zdvihu se otevřelo výfukové šoupátko a zplodiny hoření byly vytlačeny z válce pryč. Lenoir také jako první přišel s myšlenkou, aby se místo plynu používalo lehce odpařitelné kapalné palivo pro pohon vozidlového motoru

V roce 1867 představuje německý vynálezce N.A.Otto s E.Langenem atmosférický plynový motor (Obr. 1.2). Byl to stojatý jednočinný motor, který měl místo klikového mechanismu ozubenou tyč pevně připojenou k pístu. Tyč zabírala do ozubeného kola, umístěného na hlavním hřídeli, který byl uložen nad pracovním válcem. Ozubené kolo bylo uloženo na volnoběžce. Nasátá směs se zažehla otevřeným plamenem odkývaným ve vhodný okamžik šoupátkem. Ottův motor měl ve srovnání s Lenoirovým větší tepelnou účinnost a tedy nižší měrnou spotřebu paliva, výkon byl však poměrně malý, v rozmezí od 0,25 do 3 koňských sil. Proto v roce 1876 postavil první čtyřdobý ležatý vodou chlazený motor se zvýšeným kompresním poměrem se zapalováním a karburátorem. O rok později si Otto nechal svou pokrokovou konstrukci patentovat. Jeho výkon byl asi 3 kW při 170 min^{-1} , měl normální klikový mechanismus s křížákem a jednočinným pístem, který je dodnes charakteristický pro většinu pístových spalovacích motorů [1].



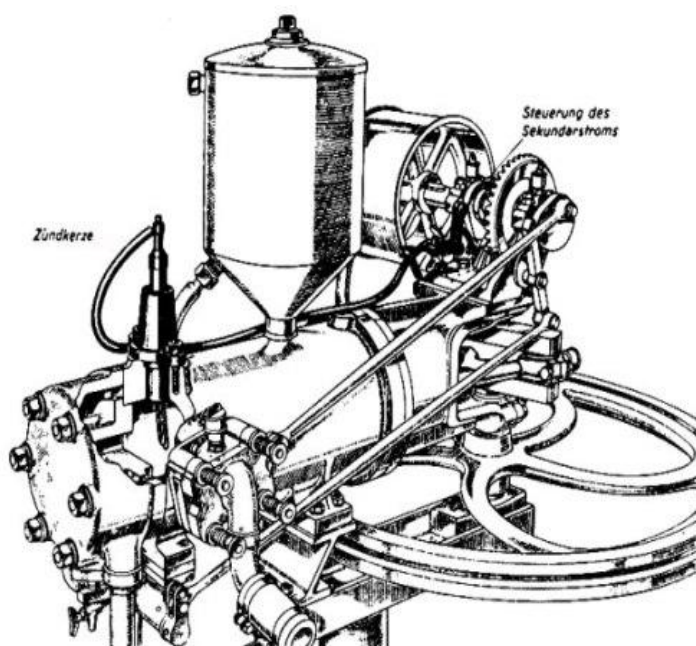
Obr. 1.2 Ottův spalovací motor [4]



Obr. 1.3 Clerkův motor [5]

Vynálezcem motoru s pracovním oběhem typickým pro dvoudobé motory je Angličan Douglas Clerk (Obr. 1.3). Ten roku 1878 postavil dvouválcový motor s ventily, jehož jeden válec sloužil ke stlačování směsi vzduchu a plynu a tato již stlačená směs byla přepouštěna do válce pracovního.

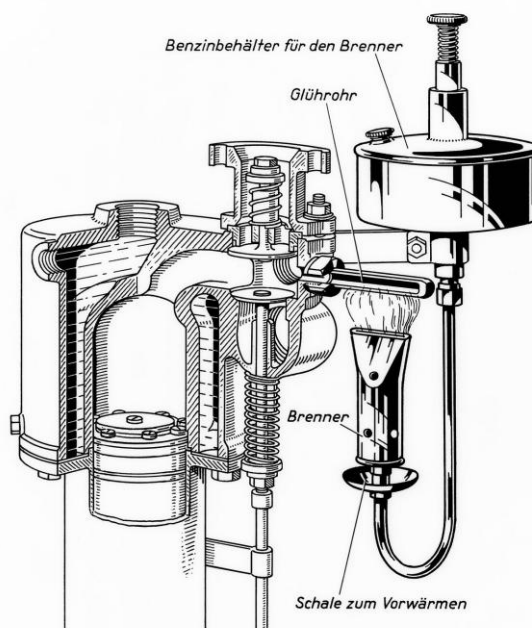
Dvoudobý bezventilový motor z roku 1888 s výfukovými a přepouštěcími kanály, uspořádanými ve stěně pracovního válce a ovládanými písty, byl dílem Angličana Daye. Kliková skříň tohoto motoru byl už uspořádaná jak plnicí dmychadlo.



Obr. 1.4 Motor Karla Benze [6]

Patent na dvoudobý plynový spalovací motor dostává roku 1879 i Němec Karl Benz. Úspěchu však dosáhl až se svým tříkolovým vozidlem osazeným čtyřdobým motorem vlastní konstrukce o výkonu cca 0,5 kW při 450 min^{-1} (Obr. 1.4). Palivem byl benzín, který vznikal jako odpad při výrobě petroleje. Benzínové páry se získávaly zahříváním nádržky s benzínem výfukovými plyny. Smíšení se vzduchem probíhalo tak, že vzduch nasávaný do válce motoru byl přes nádržku s benzínem prosáván. Zapalování bylo realizováno pomocí elektrické jiskry. Chlazení válců bylo zabezpečeno odpařováním vody.

Mezi nevýhody Benzových motorů patřilo kromě vysoké hmotnosti i malý výkon. O jeho zvýšení se pokoušel další vynálezce z Německa, Gottlieb Daimler. Uvědomil si, že základní omezením je nízkonapěťové elektrické zapalování, ve kterém přeskakují jiskry na elektrodách svíčky nepravidelně, a není možné zvýšit jejich intenzitu. Proto přišel se zapalováním pomocí žhavicí trubičky. Ta byla zahřívána zvenku malým plamenem a procházela stěnou hlavy válce. Při kompresi byla čerstvá směs zatlačena do trubičky, od jejíž žhavé stěny se vznítla. Spolehlivost tohoto zapalování umožnila zvýšení otáček na cca 800 min^{-1} a tím roku 1884 stavbu na tehdejší dobu rychloběžného motoru (Obr. 1.5, 1.6).



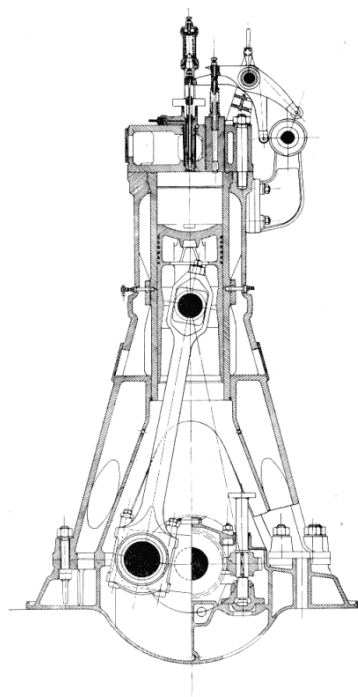
Obr. 1.5, 1.6 Daimlerův motor se žhavicí trůbkou [7] [8]

Vstřikování benzínu

První sériově vyráběné motory s přímým vstřikováním benzínu do válců byly letecké motory montované do letadel ve 2. světové válce. V porovnání s karburátorem měly vyšší výkon a jejich funkce systému přípravy směsi paliva a vzduchu nebyla závislá na směru působících setrvačných sil, ke kterému dochází právě při letu. Zkušenosti získané v letectví byly využity u motorů osobních automobilů. V počátcích se používal jeden vstřikovací ventil v místě, kde byl dříve umístěn karburátor. V dnešní době se uplatňuje tzv. vícebodové vstřikování. Při něm je palivo vstříknuto přímo do válce motoru nebo do sacího kanálu příslušného válce.

Vznětový motor

Další německý inženýr, Rudolf Diesel, se snažil nahradit parní stroje, které měly malou mechanickou účinnost. Chtěl zdokonalit spalovací motor tak, aby neztrácel tolik energie. Mělo jít o praktické přiblížení ke Carnotovu cyklu. Nejdříve konal pokusy s amoniakem jako palivem. Dlouholeté bádání završil roku 1892 získáním patentu na první vznětový motor. Během dalších pěti let vývoje, řadě zkoušek a konstrukčních změn představil vodou chlazený vysokotlaký motor (Obr. 1.10, 1.11). Palivo, nejprve petrolej, později těžká kapalná paliva, se vzněcovalo po vstříknutí do vzduchu stlačeného na 3,2 MPa. Pro přívod paliva do válce v proudu vzduchu se používal hmotný a konstrukčně složitý kompresor. Kvůli tomuto omezení byly zprvu vznětové motory používány jen jako stacionární nebo lodní motory. Teprve náhrada kompresoru vstřikovacím čerpadlem umožnila zmenšení hmotnosti a rozměrů motoru a jejich následné použití v osobních vozech.



Obr. 1.10, 1.11 První Dieselův motor z roku 1897 a jednoválcový o výkonu 80 koňských sil [12] [13]

2. Základní pojmy

2.1 Definice spalovacích motorů

Spalovací motory jsou tepelné hnací stroje, ve kterých se tepelná energie, získaná spalováním vhodných kapalných nebo plyných paliv, mění s poměrně vysokou účinností na mechanickou práci. Spalování probíhá přímo v pracovním prostoru motoru při tlaku vyšším než atmosférickém a má být pokud možno ovládané. Pracovní látkou jsou samotné zplodiny hoření.

Při přeměně tepelné energie v mechanickou práci probíhají ve spalovacích motorech termodynamické děje, při nichž se mění stav a při spalování i chemické složení pracovní látky. Soubor těchto dějů tvoří pracovní oběhy čili cykly spalovacích motorů [1].

2.2 Základní rozdělení spalovacích motorů

Podle média použitého k přenosu tepelné energie:

- a) motory s vnějším spalováním
 - médiem je např. vodní pára, vzduch a některé plyny
 - k těmto motorům patří např. pístový parní stroj, Stirlingův motor, parní turbína
- b) motory s vnitřním spalováním
 - pracovní látkou v těchto motorech jsou přímo produkty spalování
 - typickými představiteli jsou spalovací turbína a pístový spalovací motor

Podle způsobu odvodu tepla do okolí:

- a) otevřené - dochází při něm k vypuštění spalín hoření do okolí (typické právě pro pístové spalovací motory)
- b) uzavřené - odvod a přívod tepla je nutné realizovat pomocí výměníků (typické pro oběhy pracující s látkou odlišnou od atmosférického vzduchu jako např. vodní pára)

Podle způsobu využití energie plynových zplodin hoření:

- a) pístové spalovací motory - jako potenciální energie (přímé působení tlaku)
 - I. s přímočarým vratným pohybem pístu
 - II. s krouživým pohybem pístu
- b) spalovací turbíny - jako energie kinetická (rychlost proudu)
- c) reaktivní motory - plyny (zplodiny) tvoří přímo tažnou sílu motoru
 - I. proudové
 - II. raketové

Pístové spalovací motory pracují s periodicky se opakujícím otevřeným pracovním oběhem, probíhajícím v pracovním válci. Spalování paliva se děje ve spalovacím prostoru, tvořícím přímo část objemu pracovního válce.

2.3 Rozdělení spalovacích motorů s přímočarým pohybem pístu

Během vývoje byly vyvinuty různé typy pístových spalovacích motorů s písty konajícími přímočarý vratný pohyb (zdvihové písty), ale i s krouživým pohybem pístu. Dále se budu zabývat motory se zdvihovými písty a s normálním klikovým mechanismem.

Většinou se pístové spalovací motory dělí podle těchto hlavních hledisek [2]:

- druh paliva
- způsob tvoření hořlavé směsi
- způsob výměny náplně válců
- způsob zapalování směsi
- průběh spalování
- konstrukční provedení a podobná hlediska
- účel a použití motoru

2.3.1 Druh paliva

Podle druhu paliva se dělí motory na dvě hlavní skupiny. Na plynové motory a motory na kapalná paliva, buď lehká, snadno odpařitelná (např. benzín), nebo těžší, nesnadno odpařitelná (např. motorová nafta) [2].

Nejběžnějšími motory na kapalná paliva jsou:

- motory benzínové. Ty se používají převážně k pohonu silničních vozidel (jednostopých vozidel, osobních a lehčích nákladních automobilů a menších, popř. středních letadel). Benzínu se využívá i k pohonu malých motorů pro různé hospodářské, sportovní a jiné účely.
- motory vznětové, nejčastěji využívané k pohonu nákladních automobilů, traktorů, stavebních a zemědělských strojů i k pohonu osobních automobilů. Jako naftové to mohou být také motory průmyslové, elektrárenské, lodní a železniční v širokém rozsahu výkonu asi od 2 do 3500 kW. Také větší lodní motory jednotkových výkonů až 40000 kW jsou hnány levnějšími těžšími topnými oleji [2].

2.3.2 Způsob tvoření hořlavé směsi

Hořlavá směs paliva se vzduchem se může tvořit před pracovním válcem (vnější tvoření) nebo až ve válci motoru (vnitřní tvoření) [2].

- Před pracovním válcem se tvoří směs u plynových motorů se zapalováním elektrickou jiskrou ve vhodném směšovací ústrojí. U motorů na snadno odpařitelná paliva (benzín) se směs tvoří zpravidla v karburátorech, kde se palivo rozmlžuje a částečně odpařuje. Směšovací ústrojí bývá v sacím systému motoru a vedle tvoření směsi slouží i k odměřování vzduchu a paliva a regulaci množství směsi, čili k řízení výkonu motoru. Snadno odpařitelná paliva je také možno vstříkovat do sání - a to v jednom místě (jednobodový vstřík), nebo přímo před sací ventily.
- Ve válci motoru se tvoří směs především u motorů na nesnadno odpařitelná kapalná paliva (nafta a topné oleje). To se děje vstříkáváním paliva vysokým tlakem do pracovního válce, kde se nachází značně stlačený a tedy vysoce ohřátý vzduch. Množství vstříkovaného paliva a tím i výkon motoru je realizováno pomocí vstříkovače a čerpadla [2].

2.3.3 Způsob výměny náplně válců

Výměna náplně pracovních válců se provádí dvěma způsoby [2]:

- U čtyřdobých motorů se před koncem expanzního zdvihu otevřou výfukové ventily, kterými spaliny přetlakem unikají z válce. Jejich zbytek se vytlačí pístem při výfukovém zdvihu. Při nasávacím zdvihu se nasává do válce čerstvá směs paliva se vzduchem nebo jen vzduch, který se při kompresním zdvihu pístu stlačí.
- U dvoudobých motorů dochází k výfuku spalin na konci expanzního zdvihu, po otevření výfukových kanálů nebo ventilů. Spaliny unikají v první fázi vlastním přetlakem a až po dostatečném poklesu tlaku ve válci se otevřou plnicí kanály a zbytek spalin se vyplachuje čerstvě nasávanou směsí nebo vzduchem, který je dodáván s potřebným přetlakem plnicím dmychadlem. Válec se tak naplní čerstvou náplní, která bude stlačena při kompresi jako u čtyřdobých motorů.

Kromě těchto dvou způsobů je možné u čtyřdobých i dvoudobých motorů dodávat směs s atmosférickým nebo nižším tlakem (atmosférické plnění, přirozené nasávání) nebo válec plnit vyšším tlakem - přeplňování [2].

2.3.4 Způsob zapalování směsi

Zapalování směsi je dvojí [2]:

- umělé zažehnutí, zpravidla elektrickou jiskrou mezi elektrodami zapalovací svíčky. Toto je obvyklý způsob zapalování směsi paliva a vzduchu u benzinových a plynových motorů. Směs je stlačena pouze pod teplotu vlastního samovznícení.
 - samočinné vznícení vstřikovaného paliva kompresním teplem. To je běžné u motorů, kde se náplň válce stlačuje na vysoký tlak, tedy u motorů naftových, různopalivových a motorů na dvojí palivo pro vznícení zažehujícího pomocného kapalného paliva. U žárových motorů, pracujících s nižším stupněm komprese, se směs vytvořená vstřikováním nafty nebo petroleje do válce, zapaluje od rozžhavené nechlazené části stěny spalovacího prostoru. Před startováním studeného motoru je nutno tuto stěnu zahřívat např. benzinovou lampou. Tyto motory se v této době již nevyrábí.
- Dle normy ČSN 30 0025 se motory s umělým zapalováním připravené (hotové) směsi nazývají zážehové motory a motory se zapalováním směsi kompresním teplem jsou vznětové motory [2].

2.3.5 Průběh spalování

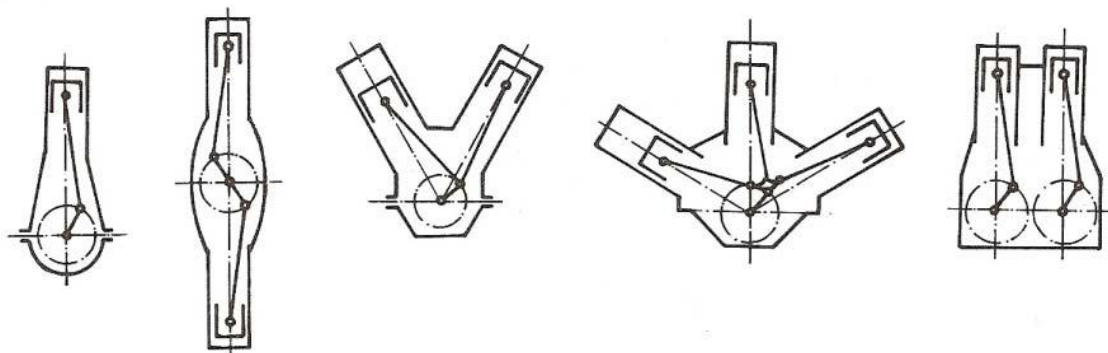
Průběh je závislý na způsobu tvoření směsi, na způsobu jejího zápalu a na druhu plamene.

Podle použitého způsobu zapalování směsi a kompresního poměru jsou dány maximální spalovací tlaky a rychlost nárůstu tlaku při spalování. Pro vyšší spalovací tlaky a rychlý nárůstu tlaku je nutné použít robustnější konstrukci u vznětových motorů. Pokud je využito způsobu spalování difuzním plamenem, problém s tvrdostí chodu u zážehových motorů nenastává (není pozorovatelná prodleva při vznícení paliva). Problém spalovacích tlaků při vysokém kompresním poměru je zde ale větší než u dnešních zážehových motorů [2].

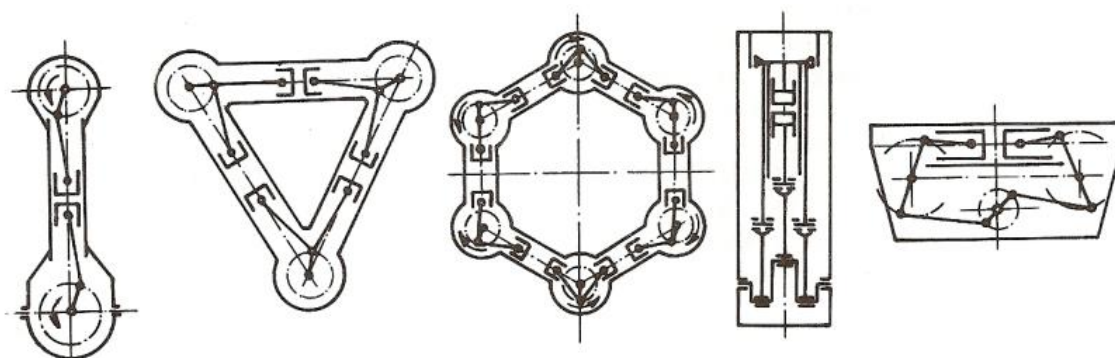
2.3.6 Konstrukční provedení a podobná hlediska

Dle celkového konstrukčního provedení se pístové spalovací motory většinou dělí podle [2]:

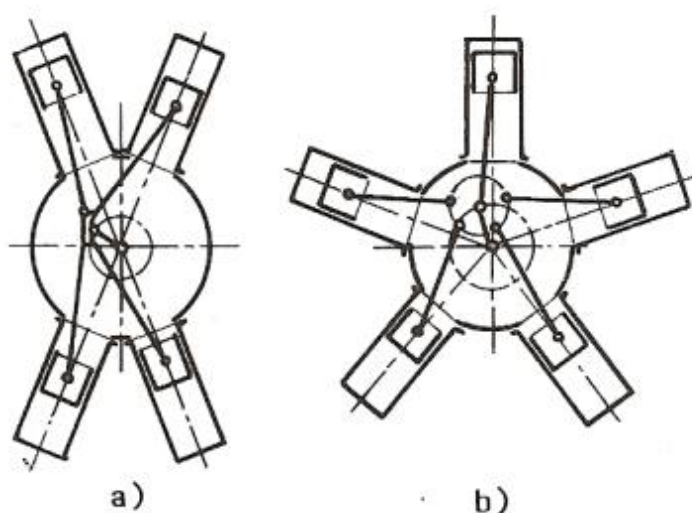
- počtu zdvihů připadajících na jeden pracovní oběh - na čtyřdobé a dvoudobé
- počtu pístů v jednom pracovním válci na - jednopístové a dvoupístové (Obr. 2.1, Obr. 2.2)



Obr. 2.1 Schéma motoru s jedním pístem ve válci [2]



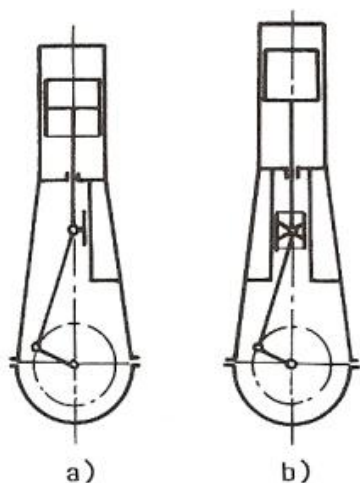
Obr. 2.2 Schéma motoru s protiběžnými písty [2]



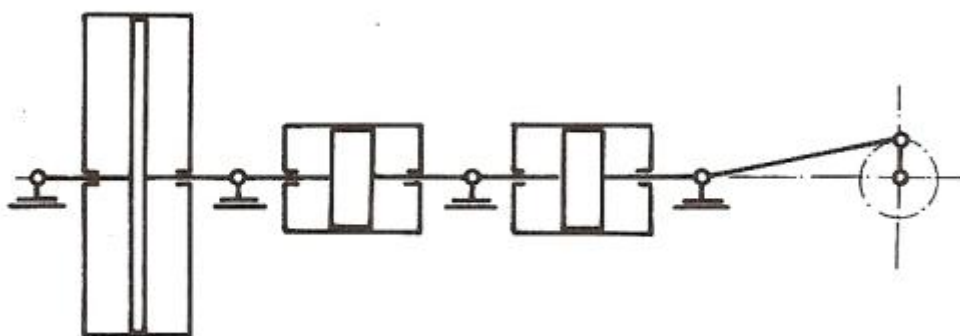
Obr. 2.3 Schéma motoru s mnoha válci [2]

- a) křížový motor s válci do X, stojatý
- b) hvězdicový motor s 5 řadami válců

- počtu pracovních ploch jednoho pístu - na jednočinné a dvojčinné (Obr. 2.4, Obr. 2.5)

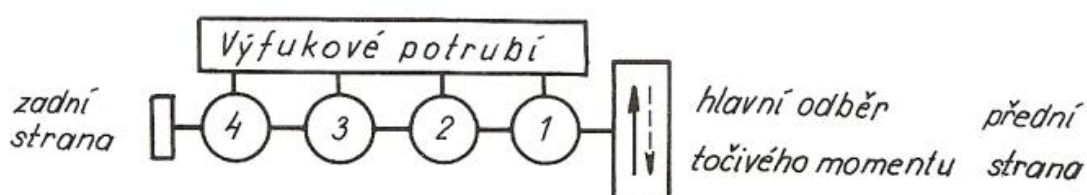


Obr. 2.4 Schéma stojatých křížákových motorů [2]
a) jednočinný motor s jednostranným křížákem
b) dvojčinný motor s oboustranným křížákem



Obr. 2.5 Schéma ležatého dvojčinného tandemového motoru [2]






















- pohybu pístu - na zdvihové a rotační
- způsobu chlazení - na chlazené kapalinou nebo vzduchem
- průměru pracovního válce - na malé ($D < 150$ mm), střední ($D = 150$ až 500 mm) a velké ($D > 500$ mm)
- počtu válců na:
 - jednoválcové s jedním spalovacím prostorem bez ohledu na počet pístů
 - dvou a víceválcové, nejčastěji se 3 až 12, popř. i 16, 18 a 20 válci
 - mnohoválcové se 24, 32 až 42 a ojediněle i více válci
- druhu klikového mechanismu na křížákové a bez křížáků (Obr. 2.4, Obr. 2.1)
- podle smyslu otáčení klikového hřídele a možnosti jeho změny na pravotočivé a levotočivé, vratné a nevratné (Obr. 2.6)



Obr. 2.6 Motor řadový, čtyřválcový, pravotočivý, pravý [2]

- polohy a uspořádání válců (Tab. 1)
- počtu a polohy klikového hřídele na jedno-, dvou- i vícehřídelové s hřídeli vodorovnými, svislými i šikmými (Tab. 1)

Tab. 1 Uspořádání válců [2]

Motory	Značka	Počet válců	Pro účely
1 stojaté		1 až 12	pro různé účely
2 ležaté		1 až 2 (6)	průmyslové
3 šikmé		1 až 6	pro speciální účely
4 visuté		1 až 6	letadlové
5 stojaté s protilehlými válci		2 až 12	letadlové
6 ležaté s protilehlými válci		2 až 12	dráhové (letadlové)
7 vidlicové (s válci do V)		2 až 16(24)	pro různé účely
8 visuté vidlicové (válce do A)		2 až 12	letadlové
9 vějířové (s válci do W)		12 až 18(24)	letadlové a spec.
10 křížové (s válci do X)		12 až 32	pro zvl. účely
11 hvězdicové (s válci pa-prskovitě kolem osy hřídele)		3	malé letadlové
12 hvězdicové (5, 7, 9, 11)		5 až 18(42)	většinou letadlové
13 s rovnoběžnými řadami válců (dvouhřídelový s válci do U)		8 až 12(18)	lokomotivní
14 stojaté s válci do H		16 až 40	letadlové
15 ležaté s válci do H			
16 stojaté dvouhřídelové s protiběžnými písty		4 až 10(12)	letadlové a lokomotivní
17 ležaté dvouhřídelové s protiběžnými písty		4 až 6	pro různé účely
18 s válci do Y (tříhřídelové)			
19 trojúhelníkové (tříhřídelové s protiběžnými písty)		9 až 18	lodní a lokomotivní
20 čtyřúhelníkové (čtyřhřídelové s protiběžnými písty)		24	letadlové
21 šestiúhelníkové (šestihřídelové s protiběžnými písty)		30	pro různé účely

- rychloběžnosti, vyjadřované zpravidla střední pístovou rychlostí c_s na:
 - volnoběžné s $c_s < 7.5$ m/s při $D < 160$ mm
a $c_s < 6.5$ m/s při $D > 160$ mm
 - rychloběžné s $c_s > 7.5$ m/s resp. 6,5 m/s
- způsobu plnění válců na nepřepřlňované s přirozeným nasáváním a přeplňované např. turbodmychadlem
- podle konstrukce rozvodu pracovní látky na:
 - ventilové: OHV (Over Head Valve) s visutými ventily a s rozvodovým hřídelem uloženým obvykle v klikové skříni
OHC (Over Head Camshaft) s visutými ventily a s rozvodovým hřídelem uloženým nad hlavou válců nebo vedle ní
DOHC (double OHC) se dvěma OHC pro jeden válec
SV (Side Valve) se stojatými ventily umístěnými na jedné straně válce, ovládanými rozvodovým hřídelem uloženým v klikové skříni
 - šoupátkové - s různým provedením rozvodových šoupátek (dnes již nepoužívané)
 - čtyřdobé motory
 - kanálové - s jedním, dvěma nebo třemi systémy kanálů, ovládaných jedním nebo dvěma písty (dvoudobé motory)
 - se smíšeným rozvodem ventilovým (OHV) a kanálovým (dvoudobé motory)
 - podle počtu ventilů v jedné hlavě na 2, 3 (obě možnosti), 4, 5, 6 ventilové
- podle strany výfukového potrubí - na pravé a levé (Obr. 2.6). Toto má význam z hlediska obsluhy, která se umísťuje na opačné straně.

2.3.7 Účel a použití motoru

Podle účelu a způsobu použití se motory třídí na [2]:

- průmyslové (pojmenování motorů k jinému účelu než pro dopravní prostředky)
 - stacionární (motor nepohyblivě uložený na pevném základě, stejně jako jím poháněný stroj)
 - mobilní (lehce přemístitelný průmyslový motor na přenosném rámu)
- dopravní (motory pro pohon všech dopravních prostředků - vozidel, letadel, lodí)
 - vozidlové
 - dráhové
 - lodní
 - letadlové
 - speciální (např. motory pro vojenské účely aj.)

3. Hlavní konstrukční skupiny pístových spalovacích motorů

V této kapitole bude rozebrána konstrukce dvoudobých a čtyřdobých zážehových i vznětových motorů a budou uvedeny odlišnosti mezi nimi.

3.1 Pevné části motoru

Mezi pevné části motoru obvykle patří víko hlavy válců, hlava válců, těsnění, válce, kliková skříň, olejová jímka (vana).

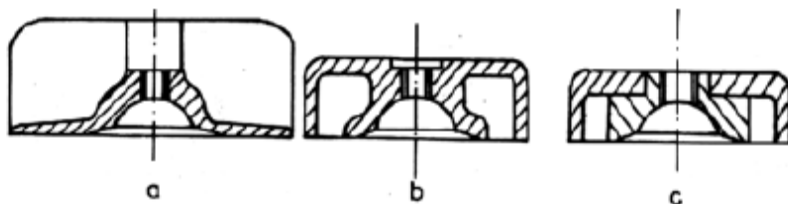
3.1.1 Hlava válců

Hlava válce musí splňovat tyto předpoklady [17]:

- společně se dnem pístu vytváří spalovací prostor a zároveň zajišťuje jeho utěsnění
- slouží k umístění zapalovací svíčky nebo vstřikovače
- zajišťuje chlazení spalovacího prostoru, částí rozvodového mechanismu, svíčky nebo vstřikovače, částí sání a přívodu paliva
- u motorů se souproudým vyplachováním zabezpečuje výměnu náplně ve válci
- musí odolávat tlaku plynu vzniklých při spalování, nerovnoměrnému tepelnému zatížení a dynamickým účinkům rozvodového mechanismu

Hlava válců dvoudobého rychloběžného motoru

U dvoudobých motorů mívá hlava válců jednoduchou konstrukci. Může být chlazena nepřímou kapalinou a přímo vzduchem. Centrálně umístěný spalovací prostor bývá symetrický, půlkulového nebo čokovitého tvaru. Materiálem pro výrobu jsou hliníkové slitiny, které mají oproti dříve používané litině větší tepelnou vodivost a tím lépe zabezpečují odvod tepla ze spalovacího prostoru [17].



Obr. 3.1 Možnosti provedení hlavy válců dvoudobého motoru [17]

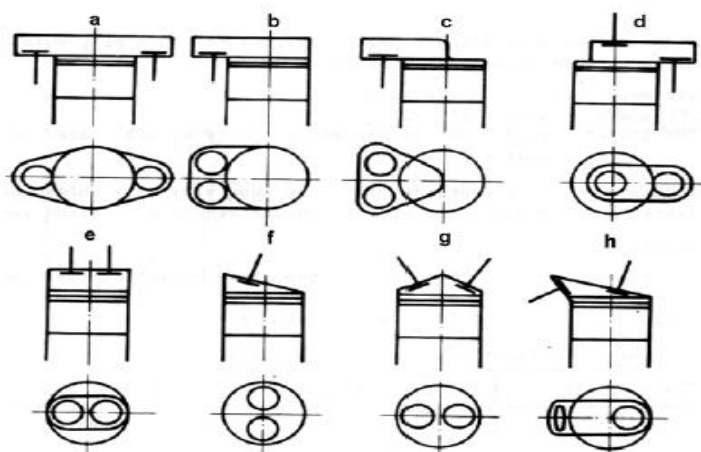
Hlava válců čtyřdobého zážehového motoru

Při použití rozvodu OHV nebo OHC musí hlava válců svou konstrukcí zajistit i výměnu náplně válců motoru - tzn. že jsou v ní umístěny ventily, součásti zajišťující jejich ovládání a také sací a výfukové kanály. U motorů chlazených kapalinou tvoří hlava nejčastěji jeden celek odlitý z legovaných hliníkových slitin u zážehových motorů a z legované jemnozrnné litiny u motorů vznětových. Z bloku válců proudí přes otvory v těsnění chladicí kapalina do hlavy. Vzduchem chlazené motory však mívají hlavu samostatnou pro každý válec motoru, která bývá odlitá výlučně z legovaných hliníkových slitin, je opatřena žebry a většinou se montuje bez těsnění.

Mezi nejdůležitější konstrukční prvek ovlivňující průběh spalování patří geometrický tvar spalovacího prostoru, který ovlivňuje rozvíření směsi, průběh spalování, spotřebu paliva a emise škodlivin, odolnost proti detonačnímu spalování a celkovou účinnost, točivý

moment a výkon motoru. V současnosti se u čtyřdobých zážehových motorů používají tyto druhy spalovacích prostorů [17]:

- klínový (Obr. 3.2 f)
- střešovitý - půlkulový (Obr. 3.2 g)
- spalovací prostor v pístu
- Heronův (Obr. 3.2 h)



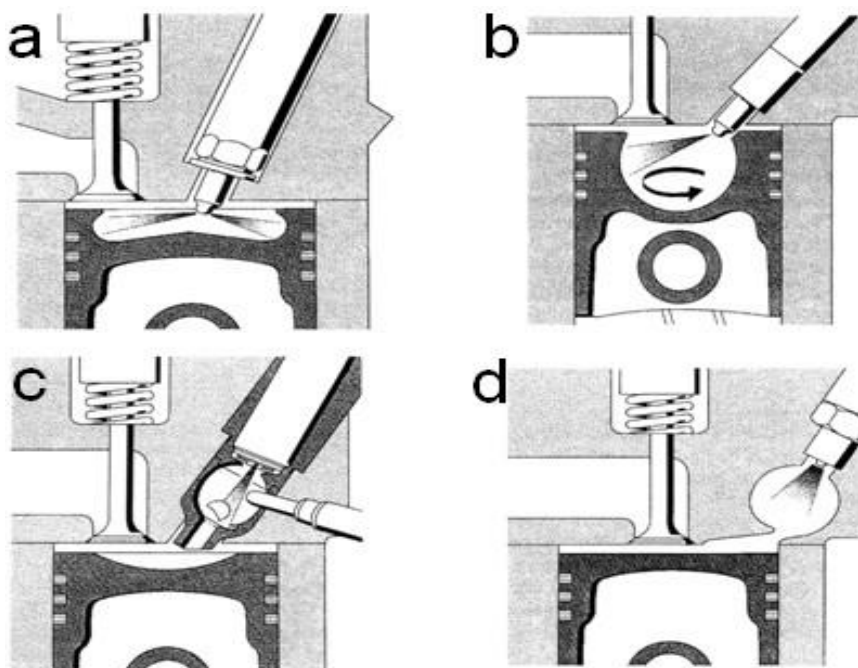
Obr. 3.2 Tvary spalovacích prostorů zážehových motorů [17]

Hlava válců čtyřdobého vznětového motoru

Hlava válců je v podstatě stejná jako u motoru zážehového, liší se použitím vstřikovače. Ten v případě motoru s přímým vstřikem ústí přímo do neděleného spalovacího prostoru a u motoru s nepřímým vstřikem do komůrky děleného spalovacího prostoru.

Nedělené spalovací prostory, do kterých je palivo vstřikováno víceotvorovou tryskou, jsou vytvořeny ve dnu pístu a je jich několik typů - spalovací prostor Hesselman, miskový, toroidní (Obr. 3.3 a), kulovitý s termickým způsobem tvoření směsi (Obr. 3.3 b). Mezi charakteristický znak těchto motorů patří i použití šroubových (toroidních) sacích kanálů. U víceventilových rozvodů se používají kanály dva, jeden šroubovitý a druhý přímý. Toto uspořádání umožňuje co nejlepší plnění a tím i výkon pro všechny provozní stavy motoru.

U dělených spalovacích prostorů je palivo vstřikováno nepřímě, do komůrky vytvořené v hlavě válce. Do hlavního spalovacího prostoru vede z komůrky jeden nebo více kanálků. Používají se dva typy komůrek - tlaková (Obr. 3.3 c) a vírová (Obr. 3.3 d). Mezi výhody patří pozvolné spalování a tím nižší hluk a zatížení klikového mechanismu motoru. Nevýhodou je vyšší měrná spotřeba paliva [17].



Obr. 3.3 Tvary spalovacích prostorů vznětových motorů [15]

3.1.2 Těsnění hlavy válců

Těsnění má za úkol utěsnit spalovací prostor v místě mezery mezi hlavou válců a blokem motoru. Musí také zabránit úniku chladicí kapaliny a oleje. Těsnění je ve styku s palivem, výfukovými plyny, olejem i chladicí kapalinou v kapalně i plynné formě, pod vysokým tlakem i podtlakem, stejně jako za tepla i za studena. Těmto všem namáháním vlivem mechanického, chemického a tepelného působení musí těsnění odolávat při všech provozních stavech motoru. Nesmí také dojít k trvalé deformaci těsnění, to se musí naopak přizpůsobovat provozním podmínkám.

Dříve používaná těsnění obsahující nebezpečný azbest jsou v současné době nahrazena těmito druhy těsnění [1]:

- ferroplastické těsnění (FW) opatřené měkkou vrstvou (vlákna, plniče, atd.)
- vícevrstevná kovová těsnění (MLC) s prolisy
- metalelastomerová těsnění (ME) s pružnými profily vyrobenými z elastomerů
- těsnění z měděného nebo hliníkového plechu u malých rychloběžných dvoudobých motorů, chlazených vzduchem

3.1.3 Válce

Válce mají za úkol:

- zachytit tlaky vznikající při pracovním oběhu motoru
- společně s pístem a hlavou válců vytvářet spalovací prostor
- co nejrychleji předat teplo chladicímu médiu
- během pracovního oběhu vést píst

Během provozu jsou válce vystaveny tomuto namáhání:

- vysoké spalovací teploty a tlaky
- vysoká teplotní napětí způsobené rychlými teplotními změnami
- opotřebení styčných ploch válců třením pístů s kroužky a zbytky po spalování
- neodpařené palivo smývá při spouštění studeného motoru mazací film ze stěny válce

Z výše uvedeného namáhání vyplývají tyto požadované vlastnosti:

- vysoká pevnost, těsnost a tvarová stálost
- odolnost proti tepelnému namáhání a dobré vedení tepla
- odolnost proti korozi zplodinami hoření a při použití kapalinového chlazení také chladicí kapalinou
- dobré třecí vlastnosti a schopnost vytvoření olejové vrstvy [14]

Válec dvoudobého rychloběžného motoru

Válec bývá připevněn ke klikové skříni pomocí příruby nebo dlouhými svorníky, které zároveň připevňují i hlavu válce. U kapalinou chlazených víceválcových motorů bývají válce ulity z hliníkových slitin jako jeden celek do bloku válců, který je připevněn ke klikové skříni. Vzduchem chlazené motory mají válce připevněny ke klikové skříni jednotlivě. Stěnou válce jsou vedeny pracovní kanály, jejichž vyústění do klikové skříně má obdélníkový nebo oválný průřez [17].

Válec čtyřdobého kapalinou chlazeného motoru

V současnosti tvoří blok válců společně s horní částí klikové skříně jeden odlitek, nazývaný se blok motoru (Obr. 3.4). Blok válců s dvojitými stěnami je opatřen kanály,

kterými proudí chladicí kapalina. Ta je přiváděn do dolní části bloku čerpadlem a proudí přes válce do hlavy válců.

Blok motoru se většinou odlévá ze šedé litiny s lamelovým grafitem. Získá tak tuhost a pevnost, dobré kluzné vlastnosti, malé opotřebení, nízkou tepelnou roztažnost a také dobrý útlum vibrací. Válce tak mohou být vytvořeny přímo v bloku.

Hlavně kvůli nízké měrné hmotnosti a lepší tepelné vodivosti se dnes bloky odlévají ze slitin hliníku. V tomto případě je nutné použít vložené válce nebo vložky válců, případně musí být třecí plocha válců speciálně upravena.

Vložené válce vyrobené z kvalitní jemnozrnné litiny se vkládají přímo do bloků válců z litiny či slitin hliníku. Mokrý vložky (vložené válce) jsou přímo omývány chladicí kapalinou, na rozdíl od suchých. Suché vložky proto mají horší přestup tepla do chladicí kapaliny.

Mezi speciální úpravy povrchu válců patří:

- metoda ALFIN - litinové vložky jsou potaženy vrstvou sloučeniny FeAl_3 a poté jsou zality slitinou AlSi
- metoda ALUSIL - blok válců odlit ze slitiny hliníku s vysokým podílem křemíku
- metoda NIKASIL - vnitřní povrch válců ze slitiny AlSi je galvanicky pokoven vrstvou niklu s vloženými karbidy křemíku, která je velice dobře odolná proti otěru
- metoda LOKASIL - jádra (budoucí vložky válců) jsou vyrobena z porézního křemíku s keramickým pojivem. Ty jsou pak předehřáté vložené do lící formy. Po naplnění formy taveninou se zvýší tlak až na 70 MPa a hliníková slitina prostoupí póry vložených jader. Materiálem je méně kvalitní recyklovaný hliník s malým podílem Si . Slitina prostoupí porézním jádrem. Vrstva křemíkových krystalů se pak odkryje honováním [14].



Obr. 3.4 Blok motoru [16]

Válec čtyřdobého vzduchem chlazeného motoru

Vlastní konstrukce válce a jeho připevnění ke klikové skříni je stejná jako u motorů dvoudobých, rozdílem je absence pracovních kanálů sloužících k výměně náplně motoru. Válce jsou opatřeny žebry, které zvětšují plochu pláště a tím odvod tepla do okolí. Pro zabezpečení účinného chlazení i při pomalé jízdě se používá nuceného oběhu ventilátorem. Válce se odlévají převážně z legovaných hliníkových slitin. Vnitřní povrch válce je však třeba v tomto případě vhodně upravit, aby měl odpovídající kluzné vlastnosti a opotřebení styčných ploch. Je také možno použít kombinaci hliníkových žebek a litinové vložky [14].

3.1.4 Kliková skříň

Hlavním účelem klikové skříně je nést ložiska pro uložení klikové hřídele. Dále slouží i pro uložení součástí rozvodového mechanismu, mazacího a chladicího systému motoru, příp. i dalšího příslušenství. Aby odolávala dynamickým účinkům spalovacího procesu a namáhání od klikového mechanismu, musí být skříň tuhá a co nejvíce tak tlumit vibrace a hluk motoru.

U kapalinou chlazených motorů je blok válců a svršek skříně odlit vcelku jako blok motoru ze šedé litiny nebo legované hliníkové slitiny. Vzduchem chlazené zážehové motory s jednotlivými válci mají klikovou skříň samostatnou, která tvoří hlavní nosnou část celého motoru a je vyrobena z hliníkové slitiny.

Vozidlové motory používají dvoudílné klikové skříně. Dělicí rovina může být v ose klikové hřídele, kvůli tuhosti však bývá častěji prodloužena pod osu klikové hřídele. Horní část tvoří zpravidla u kapalinou chlazených motorů přímo část bloku motoru a obsahuje ložiska klikové hřídele i hřídele vačkového, pokud je rozvod motoru typu OHV, a také hlavní a rozváděcí olejové kanály. Víka ložisek pro uložení klikové hřídele jsou k horní části skříně zesponu přišroubována.

Spodek klikové skříně přes těsnění uzavírá blok motoru. Protože slouží u naprosté většiny motorů i jako zásobník motorového oleje, je nazýván častěji jako olejová jímka (vana). Může být dvojího provedení:

- jako "suchý" s tlakovým mazáním z olejové nádrže, kde je část obsahující olej oddělena od prostoru, kde se nachází klikový mechanismus
- jako olejová vana u motorů s tlakovým mazáním z klikové skříně, kde vana tvoří olejovou nádrž, která je součástí klikové skříně, a je opatřena vypouštěcí zátkou

Dříve se vana lisovala z ocelového plechu, dnes se především odlévá z hliníkových slitin pro lepší odvod tepla a tlumení hluku. Skříň musí být kromě utěsnění i odvzdušněna jako opatření proti možnému stoupnutí tlaku uvnitř skříně. Na vnějšku klikové skříně jsou také umístěny kovopryžová pouzdra, tzv. "silentbloky", pomocí kterých je motor spojen s karoserií vozidla [1].

3.2 Klikový mechanismus

Hlavními částmi klikového mechanismu je píst s pístními kroužky a pístním čepem, dále ojnice a kliková hřídel se setrvačником.

3.2.1 Píst

Mezi úkoly pístu patří [14]:

- utěsnit proměnný pracovní prostor ve válci motoru
- zachytit tlak plynů, které vznikají při spalování, a přenášet je jako sílu přes ojnici na klikovou hřídel
- teplo spalín působící na dno pístu přenést z větší části na stěnu válce
- u dvoudobých motorů řídit výměnu obsahu válce

Namáhání pístu

Tlak spalín až 6 MPa u benzínových motorů vytváří např. na pístu průměru 80 mm sílu o velikosti 30 kN, na plášť pístu přitom působí měrný tlak až 0,8 MPa a na oka pro pístní čep až 60 MPa. Píst je také střídavě přitlačován na obě strany stěny válce. To v úvratích způsobuje naklápění pístu a tím hluk. Toto lze snížit např. větší provozní vůli pístu ve válci, delším pláštěm pístu a vyosením pístního čepu. Při provozu motoru působí na plášť pístu, drážky pístu a oko pístního čepu značné tření. Aby se omezily ztráty třením, musí se zvolit vhodný materiál, třecí plochy se musí dobře opracovat a mazat. Na píst působí i tepelné namáhání od zapálené směsi, jejíž teplota dosahuje až 2500 °C. Část je odvedena do stěn válce a mazacím olejem, přesto je však teplota dna pístu z lehké slitiny až 350 °C a jeho pláště až 150 °C. Toto zahřívání způsobuje rozpínání materiálu, což může vést až k suchému tření (zadření) pístu. Rozdílná tepelná roztažnost na různých místech pístu se vyrovná vhodným tvarem (ovalita pístu, kuželovitá oblast pístních kroužků) [14].

Na materiál pístu jsou kladeny tyto požadavky:

- malá měrná hmotnost kvůli menším setrvačným silám
- vysoká pevnost i při vysokých teplotách
- dobrá tepelná vodivost a malá tepelná roztažnost
- malý součinitel tření a velká odolnost proti opotřebení

Díky malé hustotě a vysoké tepelné vodivosti se používají především písty kované nebo odlévané ze slitiny hliníku a křemíku [14].

Konstrukce pístů

Hlavními částmi pístu je dno pístu, oblast pístních kroužků (koruna pístu), plášť pístu a nálietek pro pístní čep. Na tvar dna má vliv uspořádání ventilů, umístění vstřikovače a zapalovacích svíček i způsob hoření směsi (Obr. 3.5, 3.6). Dno může být vyduté u vypuklé a dle typu motoru v něm bývá vytvořen i spalovací prostor.

V koruně pístu jsou vytvořeny drážky pro pístní kroužky, jeden stírací a dva těsnící. Plášť pístu slouží k vedení pístu ve válci a odvod části tepla do jeho stěn. Nálietek přenáší síly působící na dno pístu a pístní čep [1].



Obr. 3.5, 3.6 Příklad pístu zážehového a vznětového motoru [18] [19]

Písty pro běžné použití ve vozidlových motorech se vyrábí jako jednodílné s plným pláštěm z lehkých slitin. Tyto materiály mají však velkou tepelnou roztažnost. Aby se jí zabránilo nebo se usměrnila v určitém směru, bývají do lehkého kovu pístu zality ocelové kroužky, vložky či pásy. Jejich úkolem je zmenšit vůli pístu ve válci za studena. Tím se dosáhne lepších vlastností při chodu motoru a snížení hlučnosti.

Přeplňované motory mají vysoce tepelně namáhané písty. Proto se používají olejem chlazené písty. Tryska v klikové skříní vstřikuje olej do kanálu v koruně pístu a odvádí tak teplo z prostoru drážek pro pístní kroužky. Samotné proudění oleje je zajištěno pohybem pístu z úvrati do úvrati.

Stacionární a lodní přeplňované motory mají písty litinové nebo skládané. Koruna pístu z oceli je přišroubována k plášti pístu z litiny nebo hliníkových slitin.

Kluzné plochy na plášti pístu se opatřují ochrannými vrstvami, které sníží tření při rozběhu motoru. Mezi používané vrstvy patří cínová, olověná, grafitová, eloxovaná a železná [14].

Pístní kroužky

Rozlišují se na kroužky těsnící, které těsní píst ve válci a odvádí teplo od pístu do válce, a stírací, které stírají přebytečný olej ze stěn válce a odvádí ho do olejové vany.

Kroužky musí být pružné a za všech provozních podmínek musí vytvářet potřebný přitlak na stěnu válce. Běžně jsou vyráběny z obvyklé nebo zušlechtěné litiny, pro vysoké namáhání z tvárné litiny či legované oceli. U motorů osobních automobilů jsou už obvyklé i kroužky z oceli vyráběné práškovou metalurgií. Jejich výhodou je nižší výška, což umožňuje snížit celkovou výšku pístu a minimalizovat tak vzdálenost od kroužku ke dnu pístu. Emise škodlivin ve výfukových plynech jsou pak sniženy. Opatření těchto kroužků je nižší, než u klasicky používaných materiálů [1] [14].

Pístní čepy

Čep má za úkol spojit píst s ojnici. Aby byly setrvační síly co nejmenší, mívají v sobě čepy otvory pro snížení hmotnosti. Tento otvor bývá uzavřen pro snížení ztrát při výměně obsahu válce u dvoudobých motorů. Materiálem pro výrobu jsou cementační a nitridační oceli, které musí být houževnaté a mít vysokou mez únavy kvůli střídavému zatížení. Povrchu čepu musí být také tvarově přesný a mít tvrdý a kvalitní povrch zhotovený broušením a lapováním. Uložení čepu v pístu bývá tzv. plovoucí s malou provozní vůlí. Aby čep nepoškodil stěnu válce, bývá proti axiálnímu posuvu zajištěn pojistným drátěným (Obr. 3.7) nebo Seegerovým kroužkem [14].



Obr. 3.7 Pístní čep s drátěným kroužkem [20]

3.2.2 Ojnice

Úkoly, které musí ojnice splňovat [14]:

- spojení pístu s klikovou hřídelí
- převod přímočarého vratného pohybu pístu na rotační pohyb klikové hřídele a tím v podstatě transformovat sílu tlaku spalín na točivý moment

Namáhání a materiály

Ojnice (Obr. 3.8) je namáhána na vzpěr, tah, tlak i ohyb působením velkého tlaku spalín, neustálého kyvného pohybu kolem osy pístního čepu a také setrvačných sil kvůli periodicky se měnící rychlosti pístu. Ojnice proto musí mít velkou mechanickou pevnost a zároveň co nejmenší hmotnost.

Materiálem pro výrobu ojnic kovaných v zápustce jsou legované zušlechtěné oceli. Dále se vyrábí i z legované práškové oceli jako slinutý výkovek nebo z temperované litiny, či litiny s modulárním grafitem. Slinuté kované ojnice se vyrábí jako jeden díl, který je poté rozlomen, aby vznikla charakteristická dosedací lomová plocha mezi víkem a patou ojnice [14].

Konstrukce

Hlava ojnice, zvaná též oko ojnice, slouží k držení pístního čepu. Pokud je čep plovoucí, v oku je zalisováno pouzdro nejčastěji ze slitiny mědi (CuPbSn). Pokud je čep uložen v oku napevno, je do něj přímo zalisován. Dřík spojuje oko a patu ojnice. Má tvar písmene H pro zvýšení pro zvýšení pevnosti ve vzpěru.

Pata ojnice společně s víkem obklopuje ojnicí ložisko, kterým je dělené kluzné ložisko. Pata je s víkem spojena průchozími nebo závrtnými šrouby. Ojnice je na klikové hřídeli uložena stejně jako kliková hřídel v klikové skříní v kluzných ložiscích, jejichž pánve jsou vícevrstvé [14].



Obr. 3.8 Ojnice [21]

3.2.3 Kliková hřídel

Úkoly klikové hřídele jsou [14]:

- přes rameno kliky převádět síly z ojnice na točivý moment
- většinu momentu přenášet na setrvačnick a spojku
- zbývající částí momentu pohánět rozvodový mechanismus, olejové čerpadlo, vodní pumpu, alternátor, případně i rozdělovač a další mechanismy

Namáhání a materiály

Značně velké setrvačné a odstředivé síly působí na hřídel během každého zdvihu a ta je namáhána ohybem, krutem, torzními kmity a také třením v ložiscích způsobujících opotřebení.

Pro dosažení souvislého průběhu vláken a tím velké pevnosti materiálu se klikové hřídele vyrábí zápusťkovým kováním. Materiály pro výrobu jsou oceli legované a nitridační nebo litiny s globulárním grafitem. Hřídele mohou být i odlévané, které dobře tlumí kmitání, ale nevýhodou je jejich menší pevnost [14].



Obr. 3.9 Kliková hřídel čtyřválcového motoru [22]

Konstrukce

Kliková hřídel je tvořena hlavními čepy hřídele pro uložení v klikové skříní a klikovými (ojnicími) čepy. Hlavní i klikové čepy jsou spojeny rameny kliky. Protože klikové čepy s rameny kliky tvoří nerovnoměrnost rozložení hmotnosti vzhledem k ose hřídele, musí se jejich nežádoucí vliv odstranit protizávažím umístěným na protilehlých stranách ramen kliky. V ramenech klik jsou otvory pro mazání všech čepů. Čepy musí být tepelně zpracované (např. cementováním) a přesně broušené. Na straně hřídele, kde se odebírá výkon z motoru, bývá umístěn setrvačnick s připevněnou spojkou. Na opačné straně se nachází tlumič torzních kmitů. Ten má za úkol působit proti torzním kmitům vzniklých od

rázových sil při spalování. Kromě toho bývá na volném konci hřídele i pohon ventilového rozvodu a řemenice pro pohon příslušenství motoru. Hřídel je také namáhána odstředivými silami, které je nutno vyvážit. To se provádí např. použitím protizávaží, což ale nepomáhá u čtyřválcových motorů. Proto se používají dvě vyrovnávací hřídele, přičemž jejich setrvačné síly jsou opačně orientované vůči setrvačným silám klikového mechanismu. Hlavní ložiska hřídele mají za úkol ji podírat a vést v klikové skříni. Většinou se používají dělená kluzná ložiska. Vyrábí se ze tří vrstev - podložka z oceli, nosná vrstva z olovnatého bronzu, niklová mezivrstva a vlastní kluzná vrstva z materiálu s vynikajícími třecími vlastnostmi.

Kliková hřídel dvoudobých motorů je odlišná v tom, že je dělená. Navíc se pro její uložení a klikového oka ojnice používají valivá ložiska. Také pístní čep bývá v oku ojnice uložen v jehlovém ložisku [14].

3.2.4 Setrvačník

Setrvačník slouží jako akumulátor mechanické energie, kterou využívá k překonání nepracovních zdvihů a úvrátí pracovního cyklu a také k vyrovnání kolísání úhlové rychlosti klikové hřídele. Bývá vyráběn z oceli či speciálních slitin. Na jeho obvodu se nachází ozubený věnec, do kterého zapadá pastorek spouštěče při rozběhu motoru. Setrvačník se také dynamicky vyvažuje společně s klikovou hřídelí, aby nedocházelo k rozkmitání při vysokých otáčkách motoru. U motorů osobních automobilů je používán dvoumotový setrvačník, který potlačuje hluk z převodovky a dunění karoserie. Je tvořen primárním a sekundárním setrvačníkem a tlumičem kmitů [14].

3.3 Rozvodový mechanismus

Jeho úkolem je řídit výměnu náplně válců motoru, tedy zajistit odvod spalín ven z motoru a jeho následné naplnění čerstvou směsí.

3.3.1 Rozvodový mechanismus čtyřdobých motorů

Rozvod motoru je poháněn klikovou hřídelí přes ozubená kola, ozubený řemen nebo válečkový řetěz. Hnaným členem je vačková hřídel s vačkami. Ta ovládá sací a výfukové ventily buď přímo, anebo nepřímo přes zdvihátka, tyčky a vahadla. Zavírání ventilů zajišťují ventilové pružiny. Protože se ventily otevírají jen jednou během pracovního cyklu motoru, musí mít vačková hřídel poloviční otáčky oproti klikové hřídeli [14].

Druhy ventilových rozvodů [14]:

a) Rozvod s postranními ventily - SV (Side Valves)

- tyto motory mají ventily v bloku motoru z boku a jsou ovládány vačkovou hřídelí umístěnou rovněž v bloku motoru
- v současné době se už nepoužívají

b) Rozvod s visutými ventily v hlavě válců - OHV (Over Head Valves)

- v bloku motoru umístěná vačková hřídel ovládá přes tyčky, vahadla a zdvihátka ventily zavěšené v hlavě válců

c) Rozvod s ventily v hlavě válců a vačkovou hřídelí na hlavě válců - OHC (Over Head Camshaft)

- vačková hřídel umístěná v hlavě válců ovládá ventily přímo nebo pomocí vahadel

d) Rozvod se dvěma vačkovými hřídeli na hlavě válců - DOHC (Double Over Head Camshaft)

- jedna vačková hřídel ovládá sací ventily, druhá výfukové

Hlavní části rozvodového mechanismu jsou:

Ventily

Válec čtyřdobého motoru má nejméně jeden sací a jeden výfukový ventil, pro zlepšení výměny obsahu válců se používá provedení se dvěma či třemi sacími a jedním nebo dvěma výfukovými ventily. Ventil se skládá z talíře a dříku, talíř musí spolu se sedlem ventilu dokonale uzavírat spalovací prostor, a proto je přesně osoustružena obroušen. Konec dříku mívá zápich či drážky, do kterých zapadají upevňovací klíny ventilu přenášející vratnou sílu ventilové pružiny. Ventily musí snášet velké mechanické, tepelné i chemické namáhání.

Sací ventily jsou ochlazovány směsí nebo nasávaným vzduchem. Vyrábí se z jednoho kovu. Ventily výfukové jsou tepelně namáhány mnohem více (cca 800 °C u talíře ventilu) a musí odolávat i chemické korozi od spalin. Jsou vyráběny jako bimetalové. Pro zlepšení odvodu tepla se používají duté ventily vyplněné sodíkem [14].



Obr. 3.10 Ventil s drážkami [23]

Zdvihátka

Zabezpečují přenos pohybu u vaček na rozvodové tyčky, vahadla nebo přímo na ventily. U většiny dnešních motorů slouží i pro vyrovnání vůle ventilu jako hydraulická hrníčková zdvihátka a opěrky [1].

Vodítka, sedla, pružiny, vahadla

Vodítka sloužící pro vedení ventilu jsou zalisována v hlavě válců. Jsou vyrobená ze speciální litiny či litého bronzu. Stírací kroužky v horní části vodítek dodávají jen množství oleje nutné k mazání dříku ventilu.

Pro zvýšení pevnosti dosedacích ploch pro talíře ventilů se do hlavy válců z hliníkových slitin vkládají sedla ventilů. Litinové hlavy mají sedla vytvořena přímo v sobě. Vrcholový úhel 45° kuželové dosedací plochy sedla bývá stejný jako talíř ventilu. Aby se snížil odpor proudění, bývají přechody opatřeny dvěma korekčními úhly (často 15° a 75°).

Ventilové pružiny slouží k uzavření ventilů na konci sání a výfuku. Nejčastěji se používají válcové vinuté pružiny z pružinové oceli. Jeden ventil mívá pružin dvě, aby se zabránilo spadnutí ventilu do válce při zlomení jedné z nich.

Pro nepřímé ovládané ventily se používají jednoramenná a dvouramenná vahadla. Zdvihový pohyb vačky působí přímo nebo prostřednictvím tyčky přes páku vahadla na ventil [1] [14].

Vačková hřídel

Vačková hřídel zajišťuje zdvihový pohyb ventilů ve vhodný okamžik a jejich zavření ventilovými pružinami, vše ve správném pořadí. Otevření ventilu je dáno polohou vačky na vačkové hřídeli. Tvar vačky určuje dobu otevření, zdvih a průběh pohybu při otevírání a zavírání ventilu. U automobilových motorů se nejčastěji používají špičaté a strmé vačky.

Pohon hřídele bývá zajištěn ozubeným řemenem, válečkovým řetězem, čelním soukolím se šikmými zuby nebo rozvodovou hřídelí s kuželovými ozubenými koly [14].

Variabilní rozvody

Smyslem variabilních rozvodů je zlepšení plnění válců v široké oblasti otáček motoru. Mezi výhody těchto řešení patří vyšší výkon, v určitém rozmezí otáček lepší průběh točivého momentu, snížení obsahu škodlivin ve výfukových plynech a spotřeby paliva a také menší hlučnost motoru.

Používané systémy [14] [1]:

a) Proměnné časování ventilů

- změna polohy (natočení) vačkové hřídele sacích ventilů proti vačkové hřídele výfukových ventilů
- tím se změní okamžik otevření a zavření sacích ventilů a jejich překrytí s výfukovými v určitém rozsahu otáček (systém BMW Vanos)

b) Variabilní ovládání vačkové hřídele

- změnit časování polohy vačkových hřídelí lze stavitelným napínákem řetězu
- dochází k natočení vačkové hřídele sacích i výfukových ventilů, obě hřídele jsou spojeny řetězovým převodem (Porsche VarioCAM)
- dalším způsobem je variabilní ovládání obou vačkových hřídelí, které se natáčí vůči svým rozvodovým kolům (BMW Double Vanos)

c) Variabilní ovládání ventilů

- dochází k úpravě úhlu (profilem vačky) a průběhu otevření (zdvihem) ventilů (Honda VTEC/VTEC-E, Rover VVC, BMW Valvetronic, Porsche VarioCAM-Plus)

3.3.2 Rozvodový mechanismus dvoudobých rychloběžných motorů

Dvoudobý motor nepotřebuje žádné speciální zařízení pro výměnu obsahu válců. Rozvod sání motoru je zajištěn samotným pístem (příčné či vratné protiproudé vyplachování válce), válcovým nebo kotoučovým šoupátkem a v poslední řadě membránovým (jazýčkovým) ventilem. Řízení výfuku se používá ke zlepšení plnění válce a zamezení dodatečného nežádoucího výfuku. K tomuto se využívá rezonanční komora nebo otočné šoupátko umístěné ve výfukovém potrubí motoru [14].

3.4 Palivový systém

Systém dopravy paliva musí zásobovat vlastní systém tvorby zápalné směsi palivem. Hlavními částmi jsou:

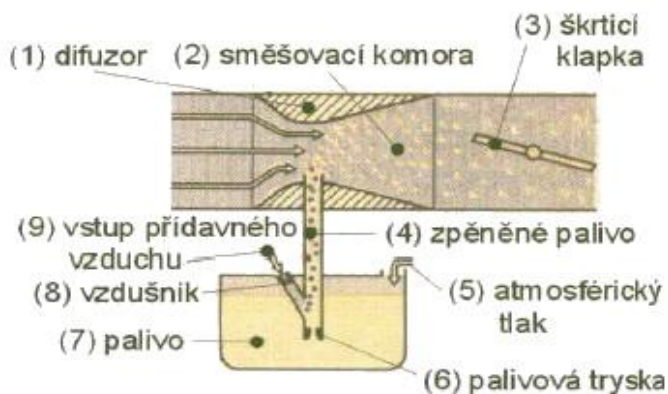
- palivová nádrž z ocelového plechu nebo plastu (např. polyetylen)
- palivové vedení, včetně zpětného vedení
- čističe paliva
- palivová čerpadla [14]:
 - hydraulicky poháněná (např. ejektorové čerpadlo)
 - mechanicky poháněná - membránová
 - elektricky poháněná - zubové, šroubové, křídlové, odstředivé s kanály
 - dle způsobu montáže se dále dělí na samostatná čerpadla v potrubí (In-Line) a čerpadla ponořená do nádrže (In-Tank)
- zařízení pro odvětrání nádrže, regeneraci aktivního uhlí a diagnostiku těsnosti nádrže

3.4.1 Palivové soustavy zážehových motorů

Úkolem palivové soustavy u zážehových motorů je vytvořit zápalnou směs paliva a vzduchu pro všechny provozní stavy motoru.

Karburátor

Karburátor zajišťuje vnější tvorbu směsi. V zúženém průřezu difuzoru se zvyšuje rychlost proudění vzduchu nasávaného pohybem pístu při sacím zdvihu. V nejužším místě je největší rychlost a podtlak, a proto je zde umístěn rozprašovač, ze kterého je palivo odsáváno podtlakem. Palivo je nejdříve zpěněno vzdušníkem ještě před nasátím do difuzoru, jeho další rozprašení se děje při unášení proudem vzduchu směrem k válci motoru. Výkon motoru a jeho otáčky se mění změnou polohy škrticí klapky, která řídí množství nasávané směsi paliva a vzduchu [14].



Obr. 3.11 Schéma principu činnosti karburátoru [24]

Dle směru proudění vzduchu rozlišujeme karburátory spádové, horizontální a vertikální. V dnešní době se používají nejčastěji spádové, u nichž proudí směs shora dolů.

Podle funkce a počtu směšovacích komor se dělí na:

- karburátory jednoduché (jednokomorové) a dvojité (dvoukomorové)
- karburátory víceetapňové s postupně se otvírajícími stupni
- karburátory rovnotlaké pracující s téměř konstantním podtlakem
- karburátory šoupátkové používané u motocyklů

Těleso karburátoru obsahuje tato jednotlivá zařízení [24]:

- plovák s jehlovým ventilem regulující přívod paliva do plovákové komory
- zařízení pro spouštění studeného motoru, které připravuje bohatou směs potřebnou pro studený start
- systém chodu naprázdno (volnoběh) s přechodovým systémem, jenž připravuje směs pro volnoběh a usnadňuje přechod do hlavního systému
- hlavní systém, který připravuje směs v celém rozsahu rozmezí pracovních otáček motoru
- obohacovač, jehož úkolem je obohatit směs vstříknutím paliva při náhlém otevření škrticí klapky
- přídavná zařízení jako jsou ventil odpojení běhu naprázdno, vyhřívání sacího potrubí a obtokových kanálů, odlučovač benzinových par, zpožďovač uzavírání škrticí klapky, zařízení pro korekci činnosti karburátoru v závislosti na nadmořské výšce

Nepřímé vstřikování benzínu

U těchto systémů je přesné množství paliva odpovídající okamžitému množství nasávaného vzduchu rozprášeno palivovými tryskami. Směšovací poměr paliva se vzduchem je upravován tak, aby odpovídal okamžitému provoznímu stavu motoru. Řízení vstřikování je mechanické nebo elektronické.

Výhody vstřikování oproti karburátoru:

- lepší plnění válců, u vícebodového vstřikování rovnoměrné rozdělení paliva k jednotlivým válcům
- vyšší výkon a točivý moment s příznivějším průběhem, nižší měrná spotřeba paliva
- motor je pružnější a má lepší přechody mezi jednotlivými provozními stavy
- snadnější spouštění studeného i teplého motoru

Tyto systémy se dle počtu vstřikovacích ventilů dělí na [14]:

1) Jednobodové vstřikování (SPI - Single Point Injection)

- elektronicky řízené systémy, palivo je přerušovaně vstřikováno jedním elektromagnetickým ventilem před škrticí klapku
- mezi tyto systémy patří:
 - Bosch Mono - Jetronic
 - nízkotlaké jednobodové vstřikování s jedním centrálně umístěným elektromagnetickým ventilem a elektronickým řízením
 - hlavní řídicí veličiny jsou poloha škrticí klapky a otáčky motoru
 - Opel Multec
 - jednobodové přerušované vstřikování s elektronickým řízením vstřikování a zapalování
 - hlavní řídicí veličiny jsou tlak v sacím potrubí a otáčky motoru

2) Vícebodové vstřikování (MPI - Multi Point Injection)

- každý válec motoru má vlastní vstřikovací ventil, který vstřikuje palivo přímo na sací ventil
- mezi tyto systémy patří:
 - Bosch K - Jetronic
 - mechanický vstřikovací systém s nepřetržitým (kontinuálním) vstřikováním paliva
 - Bosch KE - Jetronic
 - systém Bosch K - Jetronic je rozšířen o elektronickou řídicí jednotku a elektrohydraulický nastavovač tlaku
 - oba systémy mají jako hlavní řídicí veličiny množství vzduchu (zatížení motoru) a otáčky motoru
 - Bosch L - Jetronic
 - elektronicky řízené, přerušované simultánní (současné) vstřikování
 - hlavní řídicí veličiny jsou množství vzduchu (zatížení motoru) a otáčky
 - Bosch LH - Jetronic
 - jde o zdokonalený systém Bosch L - Jetronic lišící se především principem měření množství vzduchu a v některých dalších rozšířených funkcích systému

V podstatě všechny dnešní vozidla mají tzv. motormanagement - systém řízení motoru, ve kterém jsou vstřikovací a zapalovací systémy řízeny a kontrolovány jednou společnou elektronickou řídicí jednotkou. Mezi tyto patří např. Bosch Mono - Motronic, Bosch Motronic, Magneti Marelli, Siemens Simos.

Přímé vstřikování benzínu

Tento druh vstřikování je charakteristický tím, že palivo je vstřikováno v průběhu sacího a kompresního zdvihu přímo do válce a je odpařeno ještě před zážehem. Podle momentální provozní oblasti (dané zatížením, teplotou a otáčkami motoru) motor pracuje v úsporném nebo výkonném režimu.

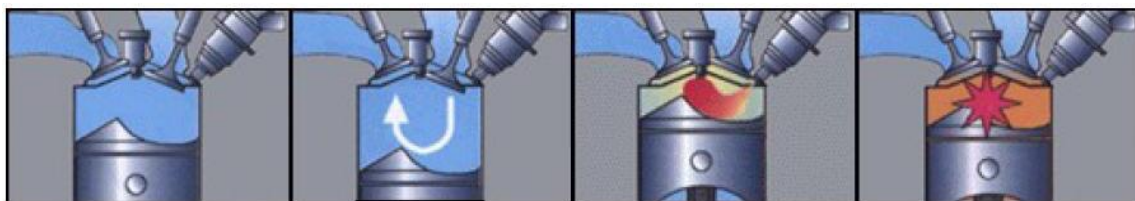
Mezi typické znaky těchto motorů patří:

- svislé sací kanály pro požadované proudění nasávaného vzduchu
- vysokotlaké palivové čerpadlo vytvářející tlak 5 až 12 MPa
- vysokotlaké vstřikovací ventily schopné měnit charakter vstřiku paliva
- písty s deflektory a vybráním pro usměrnění pohybu vzduchu nebo směsi paliva se vzduchem

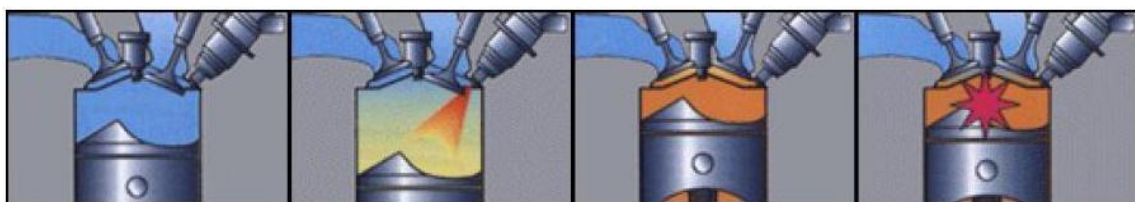
Nejznámější systémy přímého vstřiku paliva [24]:

1) Mitsubishi GDI (Gasoline Direct Injection)

- systém byl vyvinut firmou Mitsubishi
- motor pracuje se dvěma, resp. třemi režimy:
 - částečné zatížení - úsporný režim
 - výkon je regulován kvalitativně, tj. změnou složení směsi
 - vzduch je nasáván obtokem kolem škrtkové klapky
 - palivo je vstřikováno až těsně před zapálením na konci kompresního zdvihu
 - aby mohla být chudá směs zapálena, musí být dokonale rozvrstvena, čehož se dosáhne usměrněním proudu vzduchu
 - plné zatížení - vysoký výkon
 - vzduch se nasává přes plně otevřenou škrtkovou klapku
 - ke vstřiku paliva do válců dochází už během sacího zdvihu a přitom je zachován stechiometrický směšovací poměr 14,7:1
 - vstříknuté palivo tvoří stejnorodou (homogenní) směs
 - zrychlení
 - při okamžitém zrychlení dojde ke dvoufázovému vstříknutí paliva
 - při sání se nejprve vstříkne malé množství benzínu
 - hlavní dávka je vstříknuta až těsně před zážehem



Obr. 3.12 Režim částečného zatížení [25]



Obr. 3.13 Režim plného zatížení [26]

2) Volkswagen FSI (Fuel Stratified Injection) od společnosti Bosch, HPI (High Precision Injection) vyvinutý ve spolupráci BMW a koncernu PSA, Alfa Romeo JTS (Jet Thrust Stoichiometric)

- systémy přímého vstřikování používají dnes v podstatě všechny automobilky
- využívají principu vrstveného vstřikování, což umožňuje pracovat s velmi chudou směsí, čímž se snižuje spotřeba paliva
- oproti motorům s nepřímým vstřikováním mají tyto motory vyšší výkon, lepší průběh točivého momentu, nižší spotřebu paliva a mohou plnit přísnější emisní limity

3.4.2 Palivové soustavy vznětových motorů

Hlavním úkolem palivové soustavy vznětového motoru je dopravit palivo do spalovacího prostoru a zde ho kontrolovaně, z hlediska času a množství, rozprášit. Všechny následující systémy lze opatřit elektronickou regulací EDC (Electronic Diesel Control), která umožňuje pomocí regulačních okruhů seřídit velikost dodávky paliva s mnohem větší přesností než regulace mechanická.

Řadová vstřikovací čerpadla

Ve skříni řadového vstřikovacího čerpadla je tolik vstřikovacích jednotek, jaký je počet válců. Je poháněno od motoru a má poloviční otáčky jako kliková hřídel motoru. Mají vlastní pohon vačkovým hřídelem. Používají se hlavně u nákladních automobilů.

Množství dodávaného paliva se určuje pomocí regulační tyče pevně spojené s plynovým pedálem a odstředivým regulátorem. Regulační tyč natáčí písty vysokotlakých vstřikovacích jednotek umístěných ve skříni čerpadla a tím umožňuje přepouštění (regulaci množství) paliva přes soustavu drážek v hlavě pístu. Regulace je zajištěna regulátory mechanickými odstředivými nebo elektronickými.

Hlavní části palivové soustavy [24]:

1) Nízkotlaký okruh - doprava a čištění paliva

- palivová nádrž se sítkem
- dopravní palivové potrubí
- dopravní (podávací) palivové čerpadlo
- jemný čistič paliva

2) Vysokotlaký okruh - vstřikovací zařízení

- řadové vstřikovací čerpadlo
- vysokotlaké palivové potrubí
- vstřikovače

Obr. 3.14 Čerpadlo firmy Motorpal [27]



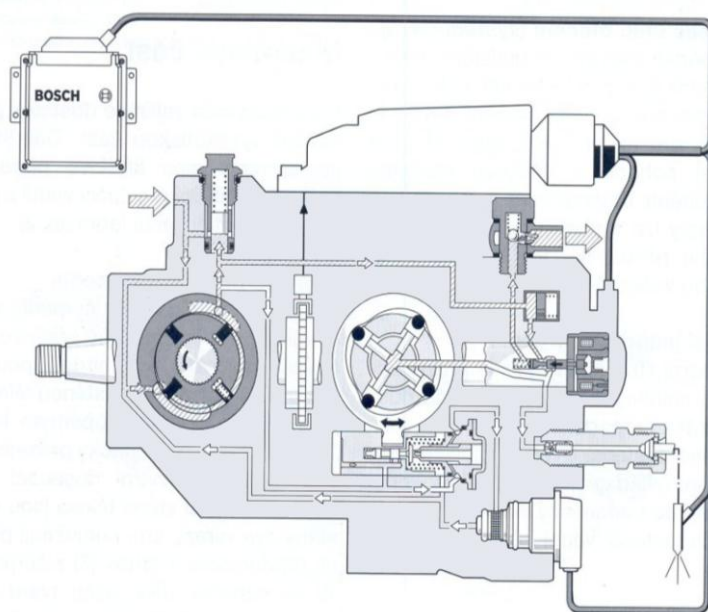
Jednopístová vstřikovací čerpadla s rozdělovačem paliva

Tato čerpadla jsou také poháněna přímo od motoru a používají se především a osobních a lehkých užitkových vozidel. Mají jen jeden vysokotlaký element poháněný axiální vačkou. Rozdělovač paliva zajišťuje stejný začátek dopravy a velikost dodávky paliva ke všem vstřikovačům ve správném pořadí vstřiku.

Celá soustava se skládá z palivového vedení, čističů paliva, nízkotlakého čerpadla, rotačního vstřikovacího čerpadla (Obr. 3.15), vysokotlakého vstřikovacího potrubí a vstřikovačů s tryskami [24].



Obr. 3.15 Jednopístové rotační čerpadlo firmy Bosch [28]



Obr. 3.16 Rotační radiální čerpadlo Bosch VR [29]

Vícepístová radiální vstříkovací čerpadla s rozdělovačem paliva

Vícepístová čerpadla mají dva, tři i čtyři písty vykonávající radiální pohyb (Obr. 3.16). Mezi výhody těchto čerpadel patří vysoký vstříkovací tlak okolo 160 MPa, rychlá regulace množství vstříkovaného paliva a počátku vstřiku [24].

Sdružené vstříkovací jednotky

Palivová soustava se sdruženými vstříkovacími jednotkami je znám pod názvem PDE nebo UIS - „čerpadlo - tryska“. U tohoto systému má každý válec motoru vlastní vstříkovací jednotku umístěnou na hlavě válců. Vstříkovací tlak až 220 MPa vytváří integrované pístové čerpadlo, které je poháněno vačkovou hřídelí motoru. Průběh vstříkování je řízen elektromagnetickým ventilem [24].



Obr. 3.17 Vstříkovací jednotka Bosch UIS [30]

Samostatné vstříkovací jednotky

Tento systém se nazývá PLD či UPS - „čerpadlo - potrubí - tryska“. Vačková hřídel motoru pohání jednopístové vstříkovací čerpadlo pro každý válec motoru. Palivo pod tlakem až 220 MPa je vytlačováno krátkým vysokotlakým potrubím do jednotlivých vstříkovačů. Regulace vstříkování je prováděna pomocí elektromagnetických ventilů umístěných na vstříkovacích čerpadlech. Tento systém se používá u užitkových vozidel [24].

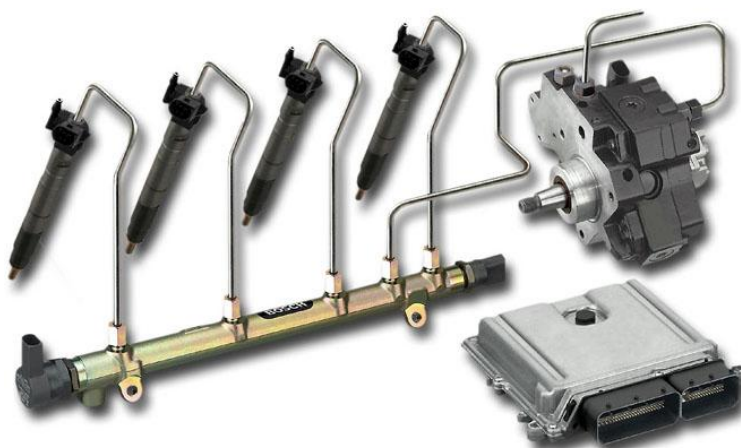


Obr. 3.18 Vstříkovací jednotka Bosch UPS [31]

Soustava s tlakovým zásobníkem Common Rail

Systém s tlakovým zásobníkem Common Rail má oddělené vytváření tlaku a vstřikování. Palivo je z vysokotlakého čerpadla dopraveno do vysokotlakého zásobníku (Railu). Množství, tlak paliva a počátek vstřiku určí elektronická řídicí jednotka. Vlastní vstřikovače jsou ovládány elektromagnetickými, elektrohydraulickými nebo piezo ventily.

Tlak až 200 MPa palivo dokonale rozpráší a tak vznikne kvalitní směs paliva se vzduchem. Průběh vstřikování je pozitivně ovlivněn i tzv. pilotním vstřikem, který předchází vstřiku hlavnímu. Motor má pak tišší a měkčí chod. Podstatnou výhodou je i nižší spotřeba paliva a nižší emise ve výfukových plynech. Tato palivová soustava se využívá jak u osobních, tak i u užitkových vozidel [24].



Obr. 3.19 Palivová soustava Common Rail [32]



Obr. 3.20 Vstřikovač Bosch s piezo prvkem [33]

3.5 Příslušenství motoru

3.5.1 Zapalování

Zapálení směsi u zážehových motorů je třeba provést elektrickou jiskrou. Aby mohla být směs zapálena za všech provozních podmínek motoru, musí zapalování zajistit:

- transformaci napětí 12 V akumulátoru na 8 - 24 tis. V
- dostatek energie pro vznik jiskry s co nejdelším hořením v každém kompresním zdvihu
- přizpůsobení okamžiku zážehu stavu motoru, tj. zatížení, otáčkám a teplotě motoru

Akumulátor dodává elektrickou energii zapalovací svíče, aby na ní mohla vzniknout dostatečně silná jiskra. Dle způsobu akumulace energie rozlišujeme tato bateriová zapalování:

- a) cívková - elektrická energie se akumuluje v zapalovací cívce ve formě magnetického pole, které je vytvořeno tokem proudu v primárním vinutí
- b) kondenzátorová (tyristorová) - kondenzátor je nabit elektrickou energií ve formě elektrického pole [14]

Cívková zapalování se dále dělí na konvenční cívková, tranzistorová cívková, tranzistorová, elektronická a nejmodernější plně elektronická zapalování.

3.5.2 Mazání

Mazací soustava musí zásobovat všechny mazané součásti motoru mazacím olejem o správném tlaku. Mezi úkoly mazací soustavy patří [14]:

- mazání - snížit třecí ztráty a opotřebení dílů motoru
- chlazení - odvod části tepla vzniklého při spalování paliva
- těsnění - zejména dotěsnění pístu ve válci
- čištění - odvod nečistot z motoru a mazací soustavy
- ochrana před korozí
- snížení hlučnosti motoru

Mazací olej je v motoru vystaven velkému mechanickému, tepelnému a chemickému namáhání. Olej je znečišťován prachem, kovovými a karbonovými částicemi, u vznětových motorů navíc i sazemi. Negativní vliv má i zkondenzovaná voda či příp. unikající chladicí kapalina. Čistič odstraní mechanické nečistoty, chemické vlivy způsobující oxidaci (stárnutí) oleje omezit nelze. Proto je nutná pravidelná výměna oleje v intervalech předepsaných výrobcem vozidla.

Rozlišujeme tyto druhy mazání [1] [14]:

1) Tlakové oběžné mazání čtyřdobých motorů

- mazací olej je vytlačován olejovým čerpadlem do všech míst a motorem cirkuluje
- existují dva typy tlakového mazání:
 - z klikové skříně
 - zásoba oleje se nachází v olejové vaně na spodku motoru
 - z olejové nádrže
 - olej je mimo klikovou skříň v samostatné nádrži

- hlavní součásti tlakového mazání:

- olejová vana
- redukční ventil
 - zabraňuje příliš vysokému tlaku oleje
- přepouštěcí ventil
 - zajišťují zásobování motoru olejem i při ucpané filtrační vložce
- olejové čerpadlo
 - zubové, čerpadlo s vnitřním ozubením (srpkové), rotační (trochoidní)
- čistič oleje
 - filtruje z oleje pevné nečistoty
 - plnopřtokové, obtokové, štěrbinové, sítové, papírové, odstředivé s volným odtokem, magnetické
- chladič oleje
 - chlazený vzduchem nebo chladicí kapalinou

2) Mazání dvoudobých motorů

- mazání mastnou směsí - olej je smíchán s palivem v určitém poměru buď přímo v palivové nádrži nebo v karburátoru
- ztrátové mazání čerstvým olejem - dávkovací čerpadlo dopravuje čerstvý olej ze samostatné nádrže k mazaným místům, olej je dávkován čerpadlem v závislosti na poloze plynového pedálu a otáčkách motoru

3.5.3 Chlazení

Účelem chlazení je odvádět do okolí přebytečné teplo vzniklé při spalování, které nelze pro pohon vozidla využít. Toto teplo přešlo do částí motoru (zejména písty, válce, hlava válců) a mazacího oleje a je třeba ho odvést pryč. Chlazení zajišťuje lepší plnění válců, u zážehových motorů menší sklon k detonačnímu spalování, vyšší kompresní poměr a výkon při příznivé spotřebě paliva a rovnoměrné provozní teploty motoru.

Požadavky kladené na chladicí systém:

- vysoký chladicí výkon
- malá hmotnost soustavy
- rovnoměrné chlazení všech součástí kvůli zamezení vzniku vnitřních pnutí
- dobrý přechod tepla co nejméně ovlivněný nečistotami a usazováním vodního kamene
- co nejnižší energii nutnou k pohonu chladicí soustavy

Druhy chlazení [14]:

- vzduchové - teplo z povrchu součástí se odevzdává přímo do okolního proudícího vzduchu
 - náporové - prouděním vzduchu za jízdy
 - nucené - ventilátorem
- kapalinové - přijímá přebytečné teplo, převádí ho a odevzdává do okolního prostředí
 - oběžné termosifonové
 - s nuceným oběhem
- vnitřní chlazení - skupenským teplem při odpařování paliva z kapalného do plynného skupenství

3.5.4 Sací potrubí

Sací potrubí slouží k přivedení zápalné směsi nebo jen čistého vzduchu do sacích kanálů a dále do jednotlivých válců motoru. Je přišroubováno k hlavě válců. Vyrábí se z hliníkové slitiny, avšak u moderních automobilů se dnes nejčastěji používá plastového sacího potrubí, které má nižší hmotnost, kvalitnější vnitřní povrch a také menší výrobní náklady. Velký vliv na plnění a tím výkon motoru má tvar a délka sacího potrubí. Podtlaku vzniklého v potrubí se využívá pro odvětrání klikové skříně a pro podtlakový posilovač brzd. Je třeba, aby vnitřní stěny potrubí byly hladké a bez výstupků a jednotlivé větve měly stejnou délku. Hliníkové sací potrubí s dvojitou stěnou vyhřívanou chladicí kapalinou zabráňuje kondenzaci kapek benzínu u motorů s jednobodovým vstřikováním a karburátorem. Kondenzaci paliva lze omezit i předeříváním nasávaného vzduchu [1].

Rezonanční plnění

K plnění motoru se využívá tlakových pulsací v sacím potrubí. Skupiny válců jsou spojeny krátkými sacími větvemi s rezonanční komorou. Komora je spojena rezonančním potrubím s okolím společnou sací komorou.

Variabilní sací potrubí

Tvarové provedení sacího potrubí je jedním z faktorů, které ovlivňují průběh točivého momentu. Ideálního průběhu lze dosáhnout pomocí variabilního sacího potrubí, jehož nastavení se mění v závislosti na otáčkách motoru, natočení škrticí klapky a zatížení.

Možnosti změny charakteristiky sacího potrubí:

- nastavení délky jednotlivých větví
- změna délky nebo průtočného průřezu sacích větví
- volitelné odpojení jednotlivých sacích kanálů u vícenásobných sacích potrubí
- přepínání mezi různými objemy společné sací komory

Čističe vzduchu

Čističe mají za úkol filtrovat nečistoty v nasávaném vzduchu a také tlumit hluk vznikající při jeho proudění sacím traktem motoru. Prach s motorovým olejem může vytvořit brusnou pastu, která způsobí velké opotřebení styčných ploch (válců, pístů, vodítka ventilů).

Způsoby odstranění prachu z nasávaného vzduchu:

- suchým filtrem s malými póry z papíru nebo plsti
- vlhkým filtrem s filtrační vložkou z kovového nebo plastového pletiva, která je při montáži smočena olejem
- čističem s olejovou náplní, který má pod filtrační vložkou z kovové tkaniny mlhovou náplň
- odstředivým čističem, ve kterém se využívá odstředivé síly k filtraci nečistot

3.5.5 Výfuková soustava

Požadavky kladené na výfukovou soustavu:

- odvézt výfukové plyny ze spalovacího prostoru a zamezit jejich vnikání do kabiny vozidla
- tlumit hluk rázů unikajících spalin
- snížit obsah škodlivin na zákonem dané limity
- co nejméně omezovat průchod plynů, aby se tak moc nesnižoval výkon motoru
- zajistit co nejmenší tepelné vyzařování

Namáhání, materiály a konstrukce

Zejména přední část výfukového systému je namáhána velkými teplotami a změnami teplot. Po celé délce působí vnější koroze způsobená povětrnostními vlivy a posypovou solí a v zadní části soustavy koroze vnitřní od kondenzátů výfukových plynů (voda, kyselina sírová). Díly výfukového systému jsou také namáhány mechanicky od odletujících kamínků, pohybů karoserie a vibrací motoru.

Sběrné potrubí bývá vyrobeno z litiny nebo jako dvouplášťové z ocelového plechu. Nerezavějící, žáruvzdorné ušlechtilé oceli jsou materiálem pro výrobu předních částí výfukové soustavy. Tlumiče hluku jsou dvouplášťové sendvičové konstrukce. Samotné potrubí je z oceli potažené hliníkem. Finančně náročným řešením, které ale prodlouží životnost potrubí, je použití nerezové oceli.

Celá soustava se skládá z několika dílů potrubí, jednoho a více tlumičů hluku a katalyzátoru s kyslíkovou lambda sondou. Tyto součásti jsou vzájemně plynotěsně spojeny. Tlumiče jsou reflexní, absorpční a kombinované. Všechny součásti spolu musí být vzájemně sladěny a nelze je zaměnit [14].

3.5.6 Přepřňování

Množství vzduchu ve válci motoru udává tzv. součinitel plnění, což je poměr mezi skutečným množstvím vzduchu ve válci a teoretickým množstvím v jednom pracovním oběhu. Hodnota tohoto součinitele je u přepřňovaných motorů v rozmezí 1,2 až 1,6. Do spalovacího prostoru se dostane více vzduchu, proto můžeme spálit více paliva a motor má tak vyšší výkon. Součinitel plnění má i svou horní hranici, aby vzhledem k vysokým plnicím tlakům nedošlo k poškození či zničení motoru. Proto mají zážehové i vznětové přepřňované motory nižší kompresní poměry oproti motorům nepřepřňovaným.

Druhy přepřňování [14]:

a) Dynamické přepřňování

- využívá pohybové energie proudícího vzduchu v sacím potrubí, který pulsuje tam a zpět
- pokud tlaková vlna zasáhne právě otevřený sací ventil, dojde k efektu přepřňování,lepší se plnění válce
- dynamickým přepřňováním lze dosáhnout vyššího točivého momentu a výkonu motoru při středních a vysokých otáčkách a snížení emisí
- dle typu konstrukce sacího potrubí známe:
 - pulzační přepřňování kmity v potrubí - využívá variabilního sacího potrubí
 - rezonanční přepřňování - použití rezonančního sacího potrubí a oddělených rezonančních komor pro určitou skupinu válců
- oba systémy je možno vzájemně zkombinovat a tím využít oba efekty přepřňování

b) Cizí přeplňování

- při sacím zdvihu je vnějším dmychadlem do válce motoru dopravováno více vzduchu, než by se do něj dostalo přirozeným sáním
- náplň je tak předběžně stlačena již na konci sání
- zařízení pro cizí přeplňování:
 - dmychadla bez mechanického pohonu - turbodmychadlo poháněné výfukovými plyny
 - dmychadla s mechanickým pohonem od motoru - šroubové Rootsovo dmychadlo, šroubové Lysholmovo dmychadlo, spirálové „G“ dmychadlo
 - dmychadla s komorovým rotorem - Compres, využívá tlakových pulsací výfukových plynů

4. Perspektivy dalšího vývoje pístových spalovacích motorů

Cílem této bakalářské práce bylo uvést etapy vývoje pístových spalovacích motorů pro jejich aplikaci v dopravních prostředcích. První část práce se zabývá problematikou těchto motorů, jejich rozdělením, popisem a jejich historickými prvopočátky. Závěr práce je zaměřen na současné trendy ve vývoji a směr, kterým by se mohly pístové spalovací motory v příštích letech ubírat.

Jak již bylo řečeno v úvodu, pístové spalovací motory mají za sebou více než 150 let vývoje a neustálého zdokonalování. Již od samého počátku jejich vývoje, tak zejména ve 20. století se objevovala řada konstrukčních řešení spalovacích motorů (asi nejznámějším je Wankelův rotační motor s epitrochoidním spalovacím prostorem), avšak pozice zážehových a vznětových motorů s přímočarým vratným pohybem pístu je stále neotřesitelná jak z hlediska technického i ekonomického. Jejich vývoj byl a je ovlivňován požadavky na hospodárnost provozu, které je možno definovat jako snahu o co nejmenší spotřebu paliva a s tím i související snahu o ochranu životního prostředí. Tyto požadavky se dají formulovat jako výkonové a ekologické.

Obecně lze do technických požadavků zahrnout zvyšování středního efektivního tlaku pracovního oběhu, přeplňování, zvyšování celkové účinnosti motoru (otázka zejména termodynamických dějů při spalování) i jeho jednotlivých podskupin, snižování energetických ztrát v motoru, do kterého patří omezení třecích ztrát, ztrát vzniklých při pohonu příslušenství motoru a regulace pohonu těchto zařízení. Jedním z pokusů splnit některé tyto požadavky jsou např. tzv. kompaktní motory, které využívají odpadní energii výfukových plynů vystupujících z turbodmyhadla. Mezi nejnovější trendy v automobilovém průmyslu patří pojem tzv. „downsizing“. Downsizing znamená použití technologií, jako je například přeplňování, přímý vstřík paliva a variabilní ovládání ventilů k získání stejného výkonu z objemově menších motorů. Základním podstatou downsizingu je tedy zmenšování objemu motoru při zachování stejného výkonu. Tyto motory mají potom nižší spotřebu paliva a tím i emise škodlivin ve výfukových plynech.

Ekologické požadavky lze shrnout jako snaha snížit obsahy uhlovodíků CH_x , CO , oxidů dusíku NO_x , CO_x a pevných částic (sazí) ve výfukových plynech na takovou úroveň, kterou předepisují normy a vyhlášky. Mezi konstrukční opatření, která jsou schopna toto splnit, patří např. snížení spotřeby mazacího oleje, odstranění „zhášecích“ zón ve válci motoru, řízená turbulence směsi ve válci, použití palubních diagnostik (OBD), které kontrolují všechny součásti motoru ovlivňující emise ve výfukových plynech a emise z odpařování paliva a další.

U zážehových motorů se jedná o nové koncepce tvoření směsi a spalování, řízené proudění směsi ve válci, zpětné vedení (recirkulace) výfukových plynů EGR (AGR), třícestné a absorpční katalyzátory, filtry pevných částic, systém řízeného autozážehu HCCI - CAI (Homogenous Charge Compression Ignition – Controlled Auto-Ignition), přímé vstřikování s homogenní, heterogenní a vrstvenou směsí, omezení energetických ztrát škrcením v sacím traktu při výměně obsahu válce, proměnlivé časování a proměnlivý zdvih ventilů, řízený průtok sacími kanály, proměnlivý kompresní poměr, odpojování válců při sníženém zatížení a také regulované přeplňování a také použití bezkontaktního plně elektronického zapalování.

Moderní směry vývoje vznětových motorů zahrnují zvýšení účinnosti přeplňování a jeho lepší regulace, chlazení plnicího vzduchu, vstřikování paliva pod vysokými tlaky pro co nejdokonalejší spalování a tím nižší emise, řízený průběh vstřikování, u motorů nákladních vozidel přechod z nepřímého na přímé vstřikování s vyšší výslednou účinností, recirkulace výfukových plynů, použití oxidačních katalyzátorů, selektivních katalyzátorů (SCR), filtry pevných částic.

Přes všechna tato opatření je zřejmé, že spalovací motory nebudou schopny v budoucnu plnit stále přísnější emisní limity. Již spoustu let probíhá vývoj pohonů, které jsou budoucností v dopravních prostředcích. Patří mezi ně klasické motory spalující alternativní paliva (bioplyn, zemní plyn, vodík atd.), elektrická vozidla s bateriemi či palivovými články a hybridní pohony spojující využití spalovacího motoru a elektromotoru. Další otázkou je budoucnost ropy, která je dominantní surovinou pro výrobu všech paliv, a zejména její zásoby. Avšak v příštích několika desetiletích je jisté, že nedostatek ropy nehrozí. Kvůli stále se zvyšující poptávce bude ale stoupat její cena na světových trzích.

Je těžké odhadnout další vývoj automobilového průmyslu. Snaha konstruktérů a výrobců vyvíjet alternativní pohony nejde kupředu tak rychle, jak se předpokládalo. V cestě jim stojí stále řada technických problémů jak při samotném návrhu, tak i výrobě. Klasické spalovací motory proto budou ještě minimálně příštích několik desetiletí dominantním zařízením pro výrobu mechanické energie v dopravních prostředcích, a proto se neustále zdokonalují a vyvíjí.

5. Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] JAN, Zdeněk - ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily III - Motory* 3. vyd., Brno: Avid, 2004. 165 s.
- [2] MACEK, Jan - SUK, Bohuslav. *Spalovací motory I*. 1. vyd. [s.l.] : [s.n.], 1996. 242 s. ISBN 80-01-00919-X.
- [3] Fluidworld. Wwww.fluidworld.net [online]. 8.3.2011, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://media.tmmarket.com/marex/media/photologue/photos/figure%202>>
- [4] Autoencyklopedie. Wwww.autoencyklopedie.cz [online]. 8.4.2010, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.autoencyklopedie.cz/wp-content/uploads/2010/04/Ott%C5%AFv-motor.png>>
- [5] Aumet. Wwww.aumet.fi [online]. 1.8.2005, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://www.aumet.fi/html/pics/clerks_engine.jpg>
- [6] Gutenberg. Wwww.gutenberg.org [online]. 22.9.2009, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.gutenberg.org/files/30055/30055-h/images/i07.jpg>>
- [7] Mercedes-Benz blog. Wwww.mercedes-benz-blog.blogspot.com/ [online]. 2010, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <[http://4.bp.blogspot.com/_UYUyHACXkrA/SHytXab4OmI/AAAAAAAAAGQE/82H4I_DjWPs/s1600/1883%2B-%2BThe%2Bhigh-speed%2Bengine%2Bwith%2Bhot-tube%2Bignition%2Bsystem%2Bfrom%2BDaimler%2B\(4\).jpg](http://4.bp.blogspot.com/_UYUyHACXkrA/SHytXab4OmI/AAAAAAAAAGQE/82H4I_DjWPs/s1600/1883%2B-%2BThe%2Bhigh-speed%2Bengine%2Bwith%2Bhot-tube%2Bignition%2Bsystem%2Bfrom%2BDaimler%2B(4).jpg)>
- [8] Emercedesbenz. Wwww.emercedesbenz.com [online]. 4.4.2006, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.emercedesbenz.com/Images/Apr06/04MercedesToShowcaseNewMuseumAtTechoClassica/1005266u2142.jpg>>
- [9] Autoroad. Wwww.autoroad.cz [online]. 11.06.2005, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://autoroad.cz/pictures/photo/2005/06/11/1118487167.jpg>>
- [10] Caspianpublishing. Wwww.media.caspianpublishing.co.uk [online]. 2011, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://media.caspianpublishing.co.uk/image/8f1707dc8c69eac47a508ea433be774e.jpg/size:750x500>>
- [11] Caspianpublishing. Wwww.media.caspianpublishing.co.uk [online]. 2011, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://media.caspianpublishing.co.uk/image/cdd6cacf7059118c6bd1b2bf64ea80a3.jpg/size:750x500>>
- [12] Thinkquest. Wwww.thinkquest.org [online]. 2000, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://library.thinkquest.org/C006011/images/pictures/ersterdiesel.jpg>>
- [13] University of Houston. Wwww.uh.edu [online]. 2001, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.uh.edu/engines/diesel2.gif>>
- [14] GSCHEIDLE, Rolf, aj. *Příručka pro automechanika*. 2. vyd. Praha: Sobotáles, 2002. 652 s. ISBN 80-85920-83-2.

- [15] Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Ww.iae.fme.vutbr.cz [online]. 2011, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=hlava%20v%C3%A1lc%C5%AF%20dvoudob%C3%A9ho%20rychlob%C4%9B%C5%BE%C3%A9ho%20motoru&source=web&cd=2&ved=0CFYQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.iae.fme.vutbr.cz%2Fopory%2Fvozidlove_motory%2Fseminarni_prace%2Fprezentace%2Fhlava_valce_motoru.ppt&ei=ev-nT5S7GZGfOrXM0ZkD&usg=AFQjCNHPC68-esDzxjCb-tnci_wwyFvAcQ&cad=rja>
- [16] Streetrodderweb. Ww.streetrodderweb.com [online]. Listopad 2008, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://image.streetrodderweb.com/f/10745324+w750+st0/srop_0811_02_z+hemi_crate_engine+426_hemi_cylinder_block.jpg>
- [17] Rauscher, J. *Vozidlové motory (studijní opory)*, Brno, Učební texty vysokých škol
- [18] Turnerengineering. Ww.turnerengineering.co.uk [online]. 3. května 2012, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://www.turnerengineering.co.uk/acatalog/V8_piston.png>
- [19] Sdpiston. Ww.sdpiston.com [online]. 13. února 2012, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.sdpiston.com/uploadfile/20101208114938363.jpg>>
- [20] Osbornsmodels. Ww.osbornsmodels.com [online]. 2012, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.osbornsmodels.com/ekmps/shops/osbornsmodels/images/hpi-15113-piston-pin-retainer-set-8622-p.jpg>>
- [21] eShopy AutodilyCZ. Ww.autodilycz.cz [online]. 2012, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://www.autodilycz.cz/zbozifoto/is_188722_ojnice-xs-047105401a.jpg>
- [22] Auto-lexikon. Ww.auto-lexikon.info [online]. 22.6.2009, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.auto-lexikon.info/wp-content/uploads/2009/06/kurbelwelle.jpg>>
- [23] Indiamart. Ww.indiamart.com [online]. 2012, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://2.imimg.com/data2/KL/LE/HELLOTD-1819313/engine_valve_seal-500x500.jpg>
- [24] JAN, Zdeněk - ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily IV - Příslušenství* 2. vyd., Brno: Avid, 2003. 305 s.
- [25] Autolexicon. Ww.cs.autolexicon.net/ [online]. 2012, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_gdi_001.jpg>
- [26] Autolexicon. Ww.cs.autolexicon.net/ [online]. 2012, [cit. 7. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://cs.autolexicon.net/obr_clanky/cs_gdi_002.jpg>
- [27] Support-business. Ww.support-business.com [online]. 2012, [cit. 12. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.support-business.com/imgp/67932.jpg>>
- [28] Opravárenství Rasošky s.r.o. Ww.opravarenstvi.cz [online]. 2012, [cit. 12. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.opravarenstvi.cz/pictures/opravy-vstrikovacich-cerpadel/bosch-7.jpg>>

[29] *Rotační čerpadlo s radiálními písty*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 1998. 51 s. Technická příručka. ISBN 80-902585-7-3.

[30] Bosch. Www.bosch.co.za [online]. 2012, [cit. 5. května 2008]. Dostupný z WWW: <http://www.bosch.co.za/content/language1/img_productworlds/pcDies6.jpg>

[31] Bosch Automotive Technology. Www.bosch-kraftfahrzeugtechnik.de [online]. 2012, [cit. 12. května 2012]. Dostupný z WWW: <http://www.bosch-kraftfahrzeugtechnik.de/media/db_application/stage_components/powertrain/dieselpumpeleistungssystem_emo.jpg>

[32] Common rail diesel. Www.commonrail.info [online]. 2012, [cit. 12. května 2012]. Dostupný z WWW: <<http://www.commonrail.info/wp-content/uploads/2009/08/255179811.jpg>>

[33] Robert Bosch GmbH. Www.rb-kwin.bosch.com [online]. 2012, [cit. 28. září 2010]. Dostupný z WWW: <http://rb-kwin.bosch.com/cz/pool/de/Diesel/Pkw/Einspritzung/CRS_Piezo.jpg>